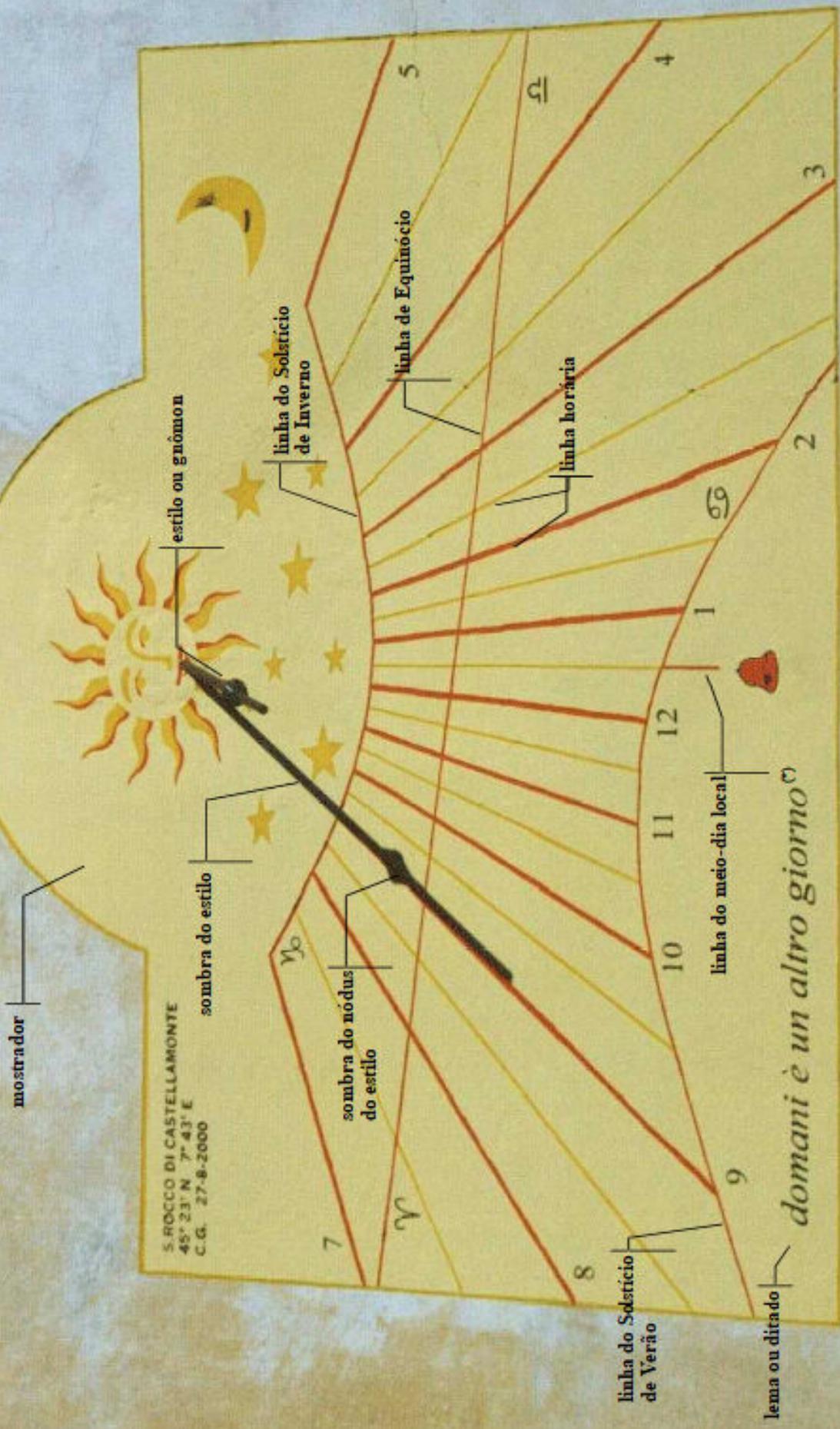
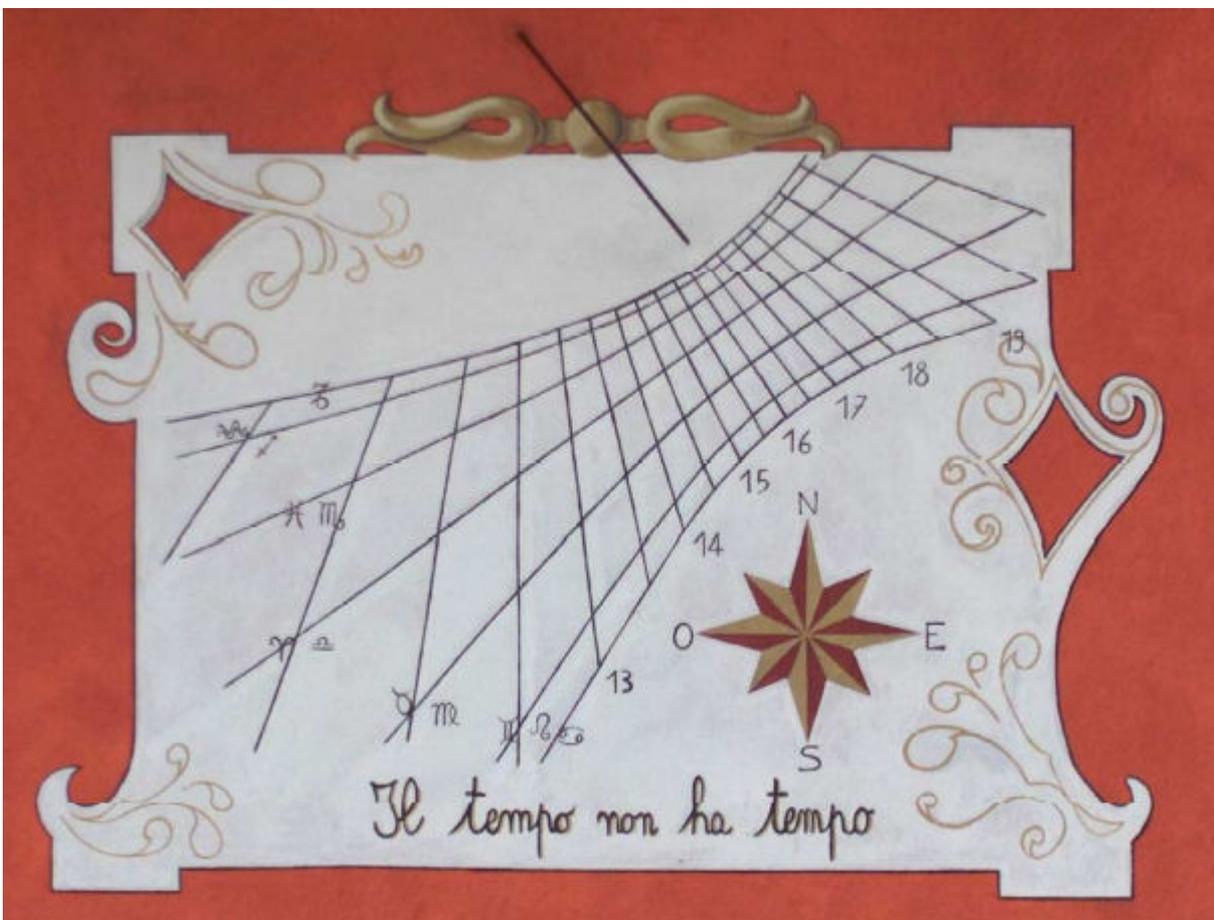
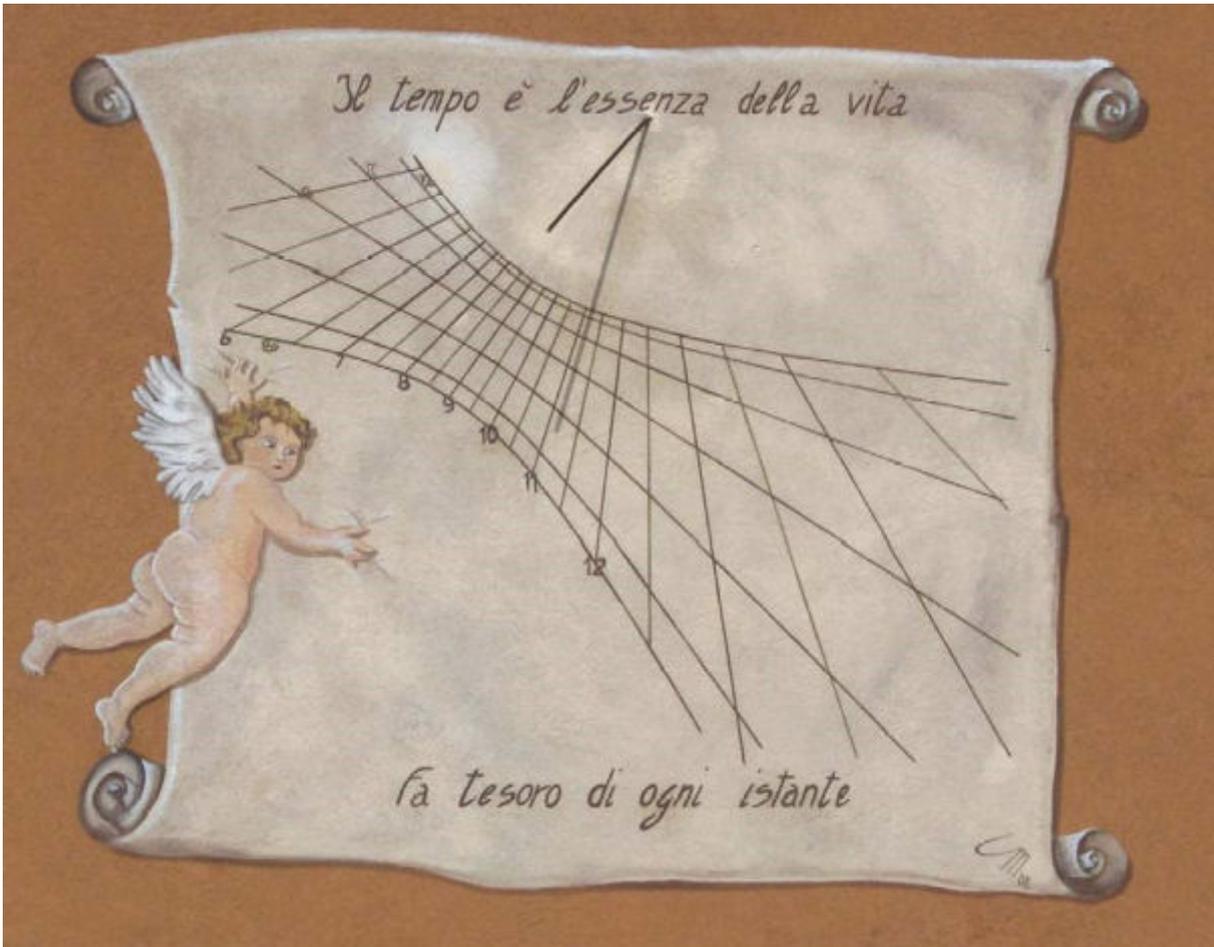


Orologi Solari



(*) amarahá e um outro dia



Mostradores construídos por Cristina Marchino

INDICE

COMO LER AS HORAS: CONCEITOS BÁSICOS	4
COMO LER AS HORAS: INFORMAÇÕES	8
COMO FUNCIONAM	16
COMO CONSTRUI-LOS	20
REFERÊNCIAS	43

CONCEITOS BÁSICOS

Premissa

O que descrevo abaixo é a forma mais comum de relógio de sol em uma parede vertical atualmente em uso, ou seja, com as linhas horárias francesas indicando a hora ou o fuso horário solar local, estilo do tipo polar (ou semelhante).

Mais tarde, *em profundidade*, outros tipos de mostradores serão descritos.

Leitura da hora

Ler a hora em um mostrador solar é semelhante a ler um relógio de pulso comum.

Nesse caso, a única mão é a sombra que o estilo (ou gnômon) gera na parede em que estão desenhos das linhas horárias: a sombra marca as horas, faltando apenas os minutos.

Quando a sombra se sobrepõe a uma linha horária esta é mesmo a hora mostrada ao lado da linha horária. Quando a sombra está entre duas linhas, o tempo é um cruzamento entre as indicações mostradas ao lado das duas linhas; no entanto, com um pouco de bom senso, também é possível estimar o valor aproximado dos minutos. Às vezes, as linhas de meia hora e até de 15 minutos (quarto de hora) podem estar presentes e simplifica a leitura.

A sombra do estilo gira em torno do ponto em que o estilo é fixado, no sentido anti-horário ou no sentido inverso do que um ponteiro de relógio comum faz. Veremos a sombra no lado esquerdo do mostrador de manhã. Ela se moverá para baixo e para a direita até atingir a linha do meio-dia, depois ela continuará para a direita à tarde até terminar ao pôr do sol no lado direito do mostrador.

O mostrador é, portanto, semelhante ao de um relógio comum com ponteiros, dividido em 24 em vez de 12 horas e é cruzado pela seta (sombra) no sentido anti-horário.

Para dar um exemplo, o relógio mostrado na capa marca as últimas 9 horas e alguns minutos, digamos cerca de 9:05.

Desculpável será dizer que o Sol não está ciente do possível Horário de Verão! Se for verão, com Horário de Verão, com efeito, uma hora deve ser adicionada ao que é indicado pelo relógio de sol para obter a hora correta. Nesse caso, o mesmo relógio no exemplo deve ser lido como cerca de 10:05.

A Equação de Tempo

Não assuste com a terminologia científica, na realidade é simplesmente um erro que necessariamente todo relógio de sol mostra em comparação com um relógio clássico.

Um relógio de sol mostra a hora correta⁽¹⁾ apenas 4 vezes por ano (15 de abril, 13 de junho, 1º de setembro e 24 de dezembro), enquanto nos outros dias pode haver um atraso de até 14' e 16" (11 de fevereiro) ou um avanço máximo de 16' 29" (3 de novembro). A explicação é a seguinte:

A Terra, como é conhecida, gira sobre si mesma, fazendo uma curva completa em 24 horas. Na verdade, essas 24 horas são um valor médio ao longo de um ano, sendo a velocidade de rotação diferente, mesmo que um pouco por dia. Isso significa que a posição do Sol no céu acumula segundos de atraso (ou avanço) todos os dias, chegando numa diferença em relação ao que é marcado pelo nosso relógio, aproximadamente mais ou 15 minutos.

¹ Obviamente, falamos de "tempo correto" em relação ao tempo médio artificial criado pelo homem (explicado mais adiante) enquanto comparado ao tempo solar, um relógio de sol, se bem feito, é muito preciso.

Como mencionado, esse erro é inevitável, ligado às leis físicas que regem o movimento das estrelas. Embora você pode corrigi-lo, pois é um erro conhecido e pode ser adicionado ou subtraído da leitura do relógio de sol.

Esse erro, quando exibido na forma de gráfico ou tabela, é chamado de Equação de Tempo. Às vezes, a tabela ou gráfico é representado no próprio relógio de sol, de modo que será fácil avaliar o valor e executar a correção.

A tabela a seguir mostra o valor aproximado da Equação de Tempo durante o ano:

	1	6	11	16	21	26
janeiro	3' 29"	5' 45"	7' 51"	9' 42"	11' 16"	12' 31"
fevereiro	13' 35"	14' 5"	14' 16"	14' 6"	13' 39"	12' 56"
março	12' 20"	11' 15"	10' 0"	8' 37"	7' 9"	5' 39"
abril	3' 51"	2' 23"	1' 1"	- 0' 12"	- 1' 18"	- 2' 12"
maio	- 2' 54"	- 3' 23"	- 3' 38"	- 3' 38"	- 3' 25"	- 2' 58"
junho	- 2' 10"	- 1' 20"	- 0' 21"	0' 41"	1' 46"	2' 50"
julho	3' 50"	4' 44"	5' 29"	6' 3"	6' 24"	6' 31"
agosto	6' 19"	5' 52"	5' 11"	4' 16"	3' 7"	1' 48"
setembro	0' 0"	- 1' 38"	- 3' 21"	- 5' 7"	- 6' 54"	- 8' 39"
outubro	- 10' 19"	- 11' 52"	- 13' 15"	- 14' 27"	- 15' 23"	- 16' 3"
novembro	- 16' 27"	- 16' 24"	- 16' 0"	- 15' 14"	- 14' 8"	- 12' 41"
dezembro	- 10' 56"	- 8' 56"	- 6' 43"	- 4' 20"	- 1' 53"	0' 35"

Tabela 1 — Valores aproximados da Equação de Tempo
(valores a serem adicionados ao tempo solar para obter o tempo médio)

O valor indicado na tabela deve ser adicionado à hora indicada pelo relógio de sol: onde o sinal for positivo, o relógio de sol estará atrasado e onde o sinal for negativo, o relógio de sol estará adiantado⁽²⁾

Supondo, por exemplo, que o relógio na capa tenha sido fotografado em 11 de outubro, sendo a EdT naquele dia igual a -13'15", podemos dizer que o horário marcado é de 9:05-13'15" \cong 8:52 ou, exibindo uma aproximação, na leitura da posição da sombra, cerca de 10 minutos para nove.

É claro que corrigir a indicação do mostrador com a Equação de Tempo é uma confusão: os relógios de sol devem ser usados como costumavam ser: dando uma ideia da hora do dia. Conte-nos se é mais ou menos hora do almoço ou se o pôr do sol se aproxima, nos trazendo de volta a essa filosofia de vida e da passagem do tempo que pertencia ao mundo rural de nossos ancestrais.

Uma última observação: alguns relógios de sol permitem a correção da Equação de Tempo diretamente, através de uma linha curva, na forma de oito, chamada Analema ou Lemniscata. Isso será discutido mais tarde em informações mais detalhadas.

² Não existe uma definição padrão de EdT, também é encontrada com o sinal invertido. Nesse caso, o valor da EdT deve ser subtraído em vez de adicionado ao tempo indicado pelo relógio de sol.

Leitura da estação

Se as linhas horárias são indispensáveis em um relógio de sol para ler a hora do dia, não são as linhas diurnas que indicam a estação e, portanto, podem estar presentes ou não no mostrador (continuando a analogia com o relógio clássico, se a indicação das horas for essencial, a indicação da data é opcional).

As chamadas linhas diurnas, quando presentes, medem a declinação do Sol (ou seja, a inclinação dos raios solares em relação ao plano equatorial terrestre) e, portanto, desde que os meses e as estações estejam ligados pela declinação do Sol, marcam o momento que nos encontramos ao longo do ano.

Normalmente, os signos do zodíaco são mostrados no mostrador, em vez de meses ou estações, pois são intimamente relacionados a momentos astronômicos precisos.

A linha mais comumente traçada é a dos Equinócios (primavera 21 de março, outono 23 Setembro). É uma linha reta que cruza as linhas horárias; é horizontal para um mostrador voltado para o Sul, inclina-se para a esquerda ou para a direita por um mostrador Declinante, respectivamente, a Oeste e a Leste.

As outras linhas mais comuns são as do Solstício de Inverno (21 de dezembro) e de Verão (21 de junho). Elas são duas linhas curvas (hipérbolas) que cruzam as linhas horárias, a primeira acima e a segunda abaixo da linha equinocial. Elas correspondem aos momentos de altura mínima e máxima do Sol no céu.

Às vezes, as 4 linhas vinculadas às datas de entrada também são traçadas nos 4 restantes signos do Zodíaco. Como você lê as informações da estação?

Nesse caso, não é mais a inclinação da sombra que permite que ela seja lida, mas seu comprimento.

Vejamos o final da sombra: quando estiver exatamente numa das linhas descritas, estamos em coincidência com um Solstício ou um Equinócio ou a data de entrada num signo do Zodíaco; quando a sombra estiver entre duas linhas, devemos novamente usar o bom senso e estimar aproximadamente o mês ou a estação do ano.

Atenção: às vezes não é a ponta da sombra do estilo que nos dá essa indicação, mas a mancha de sombra criada por uma protuberância ou nóduz colocado perto de sua extremidade (como no relógio de sol na capa). Mais raramente, essa protuberância é substituída por um disco com um furo no meio (chamado furo gnomônico). Neste caso, é o ponto de luz criado pelo furo que permite a leitura.

Também nesse caso, pode não haver sombra do estilo para sinalizar o tempo: é um círculo de luz que, com sua posição, fornece a indicação de hora e estação do ano ao mesmo tempo.

Olhando, por exemplo, o relógio na capa, pode-se deduzir que a foto foi tirada ou pouco antes do Equinócio de Primavera (ou seja, entre o final de fevereiro e o início de março) ou logo após o outono, portanto, no final de outubro), ambos a partir do Hemisfério Norte).

O meio-dia local

Desde o final de 1800 (na Itália desde 1893), o mundo é dividido em 24 fusos horários, dentro dos quais o tempo foi padronizado por razões óbvias de praticidade. Isso, no entanto, significou entender o meio-dia como o momento que divide o dia em dois e no qual o Sol está na sua máxima altura no céu, ele permanece assim apenas no centro de cada fuso horário, enquanto se afasta dele de Leste ou Oeste. O verdadeiro meio-dia solar ocorre respectivamente com antecipação ou retardo comparado com o meio-dia médio do fuso horário (4 minutos para cada grau de longitude).

Por exemplo, em Castellamonte (TO) essa diferença é de 29m 9s e fica a Oeste do meridiano de referência do fuso horário; o meio-dia verdadeiro ocorre às 12:29:09 (a menos que haja um erro de Equação de Tempo!).

Em um relógio de sol vertical, o meio-dia local sempre corresponderá à linha vertical que começa na base do estilo polar. Às vezes, essa linha é desenhada no mostrador e identificada com a letra M ou com o símbolo estilizado de uma campainha (veja a foto na capa).

Um lema

Embora sem relação com a indicação do tempo, um lema, ditado ou frase é um elemento tradicional dos relógios de sol.

Às vezes, expressa sabedoria antiga, por vezes é irônico; mas, geralmente em relógios mais antigos, nos traz conceitos religiosos relacionados ao vazio da vida e à certeza da morte.

Devo dizer que, na minha experiência, a escolha do lema é muitas vezes ainda mais exigente e dolorosa do que o próprio projeto.

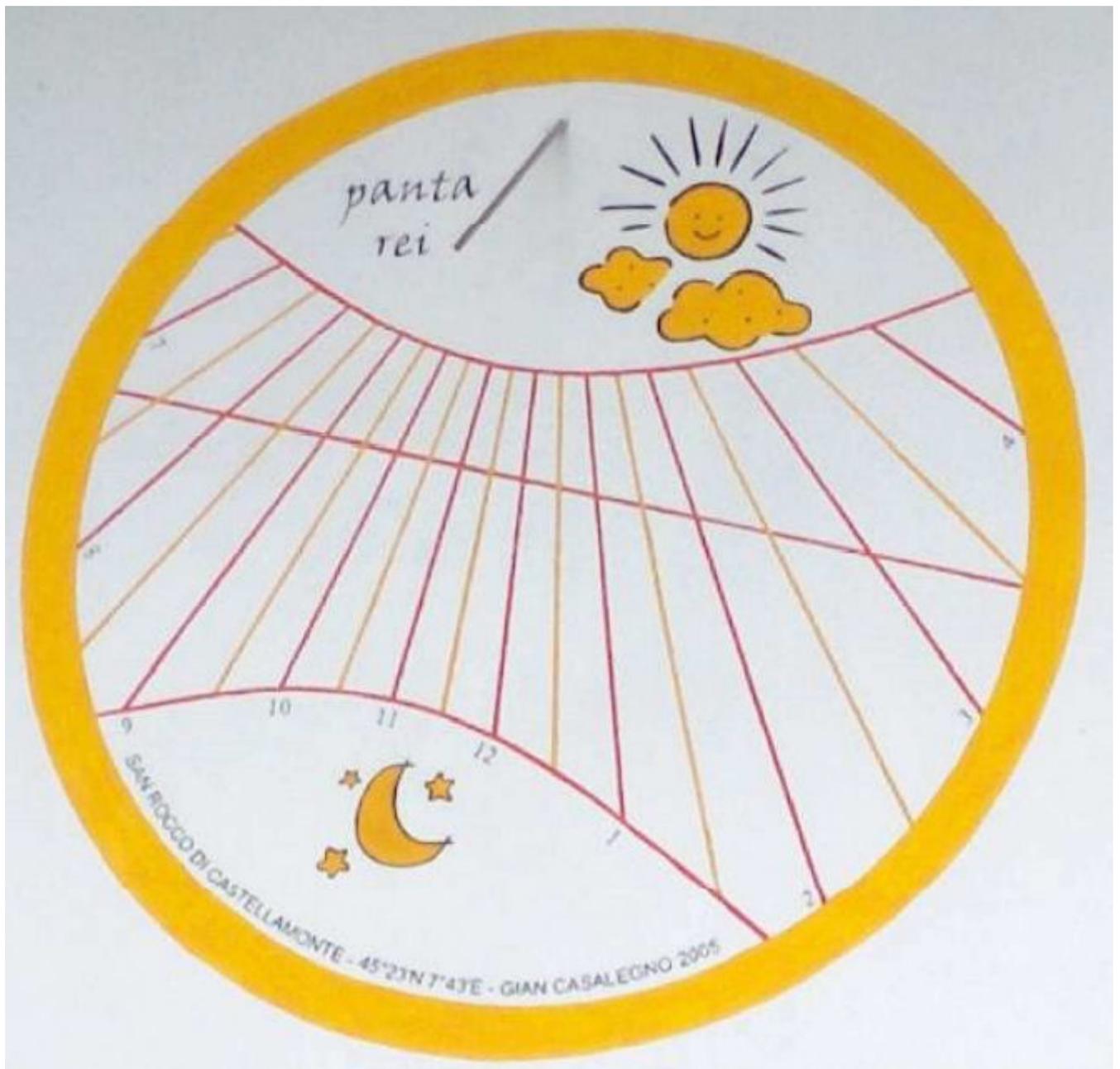


Figura 1 Relógio de sol indicando Hora TMEC (UTC+1)

COMO SE LÊ - PROFUNDIDADE

Horas temporais ou canônicas

É um método antigo para medir o tempo ao longo do dia. Traços podem ser encontrados nas Sagradas Escrituras: "Ele saiu novamente para a terceira hora ... Ele saiu novamente para a sexta e a nona hora ... Ele saiu para a décima primeira." *Mateus 20: 1-16*).

A luz do dia, do amanhecer ao anoitecer, é dividida em 12 horas iguais, nomeadas hora primeira, segunda, terceira, etc.

Como a duração da luz não é constante durante o ano (mais longa no Verão, mais curta no Inverno e igual a 12 horas atuais apenas nos Equinócios), temos que a duração de uma hora canônica não seja constante durante o ano. Obviamente, isso não era um problema na antiguidade, mas hoje seria inaceitável.

Elas permaneceram em uso até o século XII.

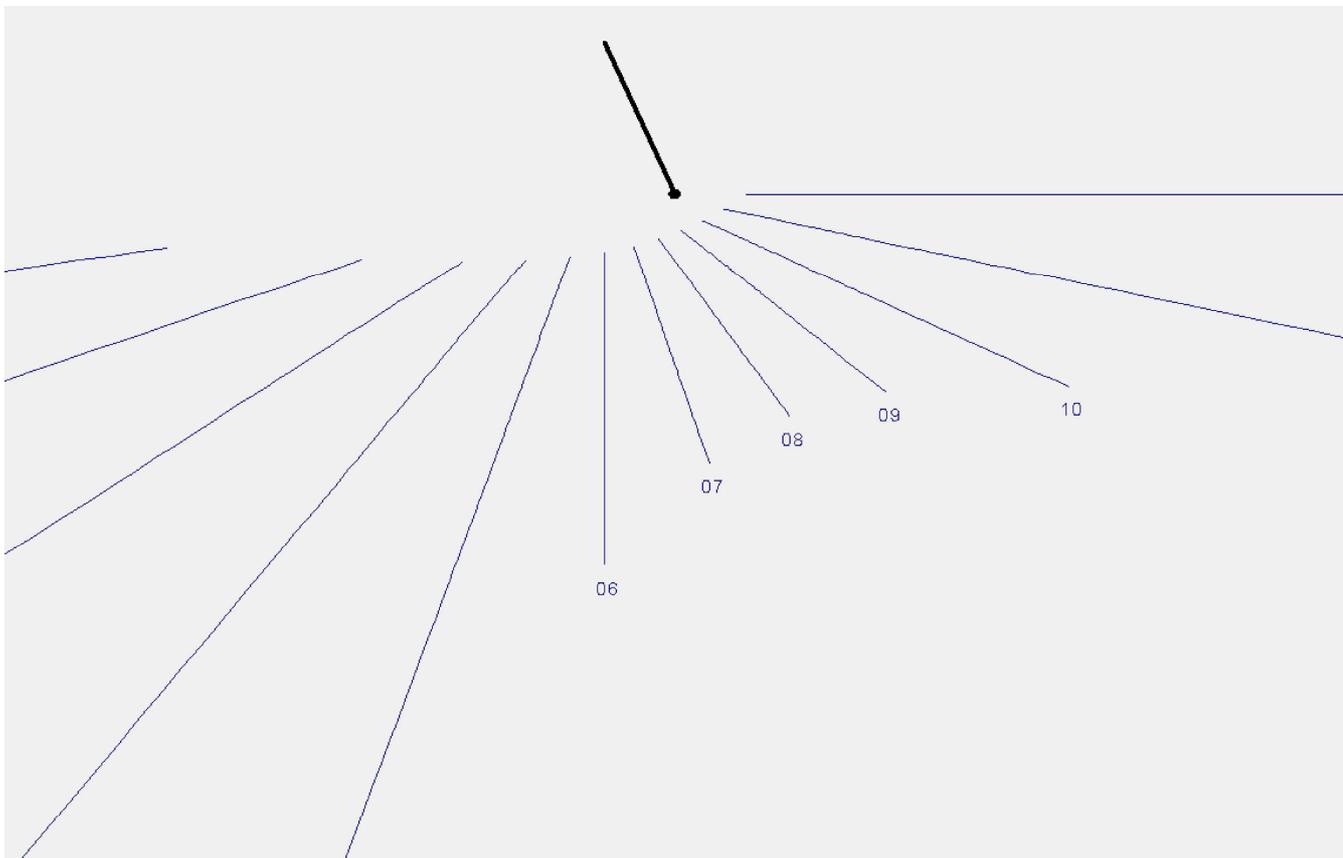


Figura 2 Horas Temporais

Horas Babilônicas e Horas Italianas

São horas iguais, ou seja, de duração constante durante o ano. Elas são medidas dividindo o dia em 24 partes iguais: a hora 0 coincidindo com o nascer do sol nas horas babilônicas e no pôr do sol nas horas italianas.

Como o nascer e o pôr do sol ocorrem em momentos diferentes durante o ano, embora essas horas sejam sempre as mesmas, o início do dia muda de um dia para o outro, portanto, não há relação fixa com a hora que usamos hoje.

Elas foram introduzidas por volta de 1200 sob a influência da cultura árabe, bem como o fato de os primeiros relógios mecânicos começarem a ser construídos e, obviamente, as horas indicadas por eles eram constantes ao longo do ano.

Elas ainda são encontradas em relógios de sol antigos, geralmente simultaneamente e sobrepostas nas linhas francesas e, às vezes, ainda são usadas em relógios modernos.

Elas podem ser reconhecidas pelo fato de que as linhas horárias não convergem em um ponto. Também as linhas babilônicas (Figura 3) tem uma linha horizontal à esquerda do mostrador (a 0 hora do amanhecer, não presente na figura porque o mostrador é Declinante para o Oeste) e as horas seguintes gradualmente se tornam mais verticais; as linhas italianas são espelhadas, têm uma linha horizontal à direita do mostrador (as 24 horas do pôr do sol) e as horas precedentes gradualmente se tornam mais verticais (Figura 4).

É interessante notar que, com as duas medidas disponíveis, é possível saber a hora decorrida desde o amanhecer (horas babilônicas), o tempo que falta para o pôr do sol (24 - horas italianas) e a duração do período de luz (soma dos dois). É evidente o quanto essas informações podem ser úteis no mundo rural.

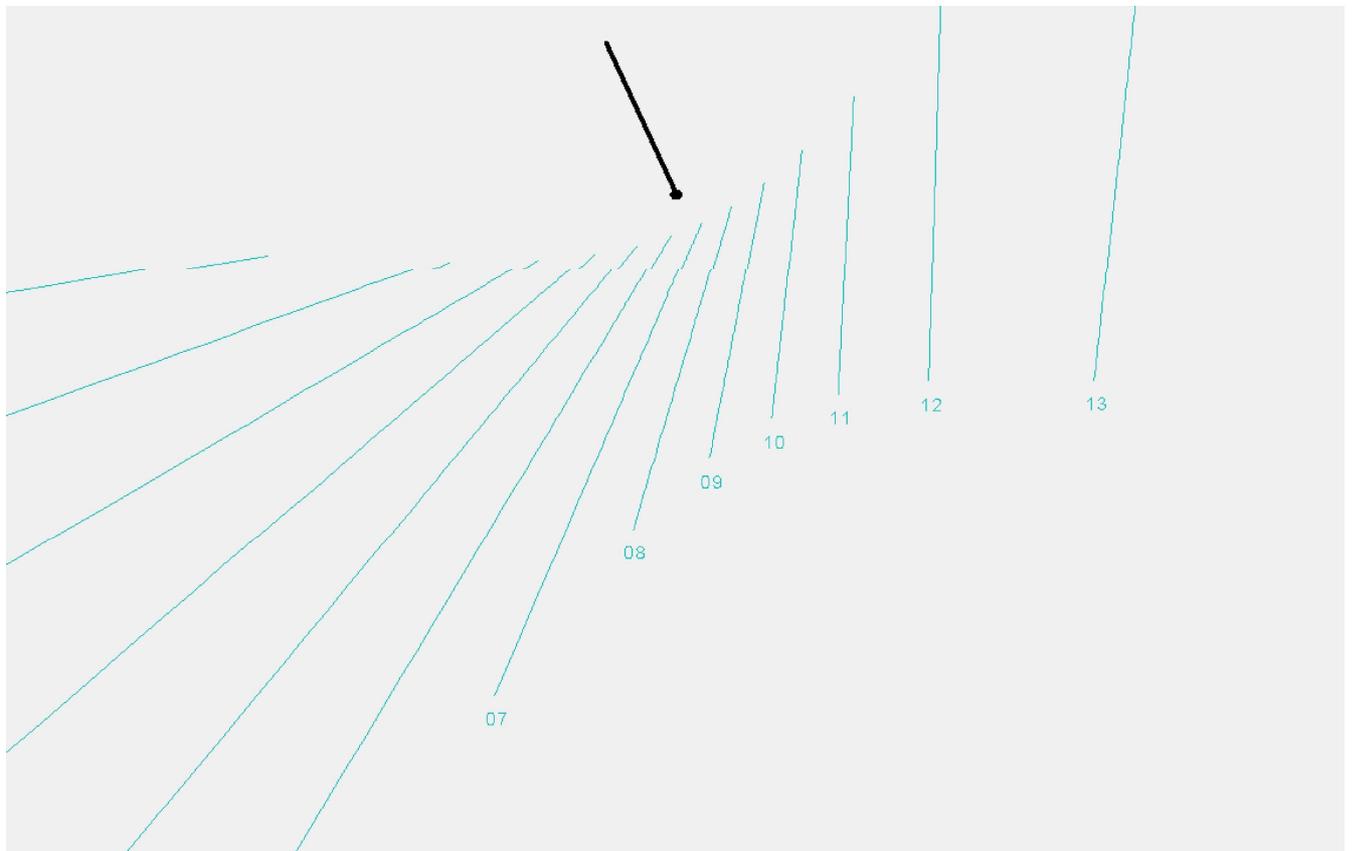


Figura 3 Horas Babilônicas

Horas Francesas, ou Modernas ou Equinociais

Introduzido no final dos anos 1700 e início do século XIX, essas são as horas que ainda usamos hoje. São horas iguais que dividem o dia inteiro em 24 partes iguais; as 12 horas coincidem com a passagem do Sol no meridiano local (instante de altura ou elevação máxima do Sol no céu) e zero hora coincide com a meia-noite.

Um relógio de sol com horas francesas é reconhecido pelo fato de as linhas horárias convergirem em um único ponto (que coincide com a base do estilo polar ou de tubo).

A Figura 5 mostra um relógio de sol com Horas Babilônicas, Italianas e Francesas, além das linhas diárias. Observe que, como a parede está declinando para Oeste, a hora babilônica (ou seja, o amanhecer) não aparece enquanto a Hora Italiana de 24 horas (pôr do sol) está presente.

Observe também que na linha equinocial todas as três medidas coincidem (3) e , estando no Equinócio, a duração do dia é de 12 horas exatas.

Uma última observação: nas figuras 3, 4 e 5, as linhas horárias ou frações destas linhas horárias que estão representadas nunca serão tocadas pela sombra. Por exemplo, as linhas de horas Italianas 1, 2 e 3 que correspondem às horas noturnas. Talvez esteja tecnicamente errado, mas na minha opinião o resultado da figura 5 é mais harmonioso do que um gráfico que foi truncado abruptamente.

A Figura 6 resume a definição de linhas de Horas Temporais, Babilônicas e Italianas, relacionando-as às horas modernas ou francesas atuais.

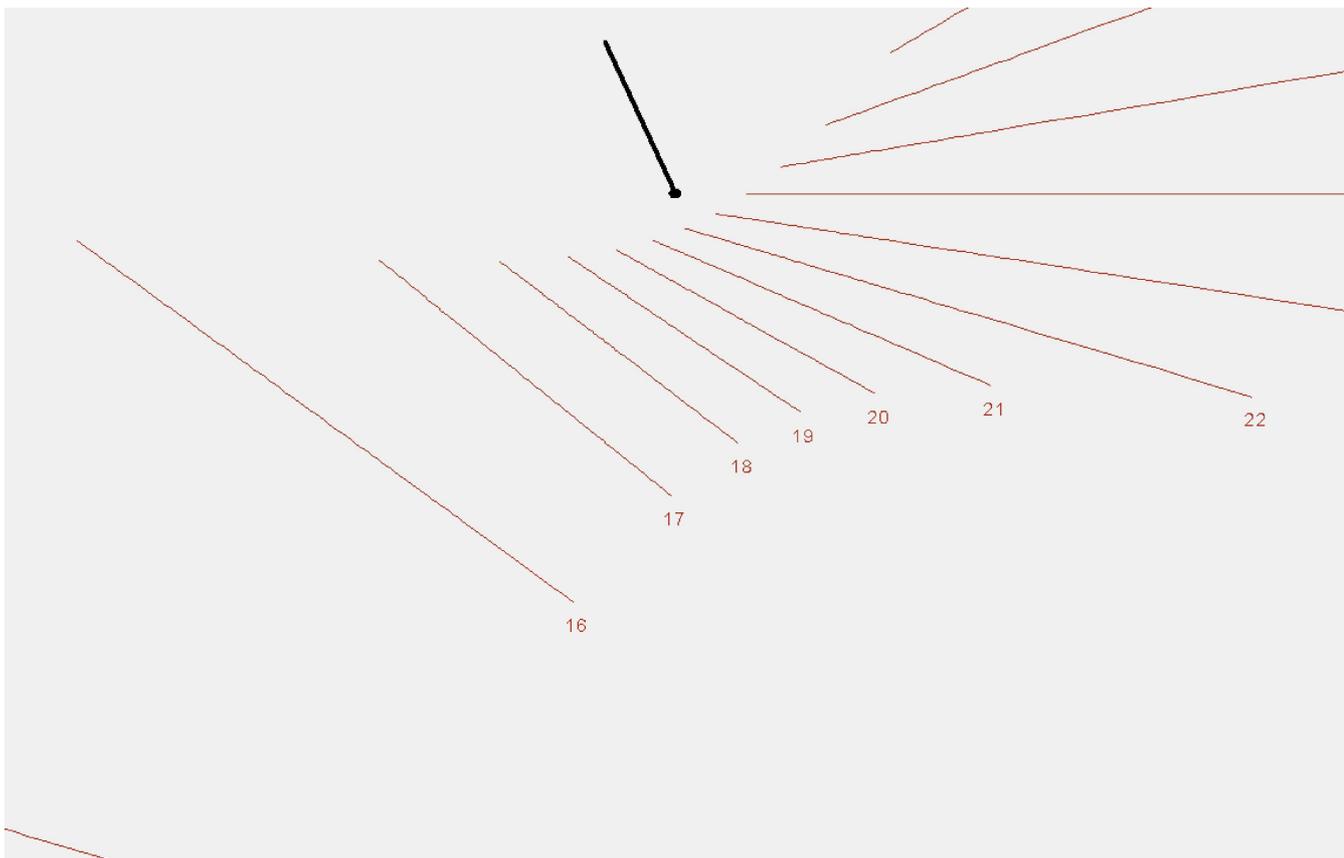


Figura 4 Horas Italianas

³ Essa coincidência seria perdida se as linhas horárias francesas fossem desenhadas para o eixo de referência, incluindo o erro de longitude: na verdade, as linhas francesas mudariam devido à diferença de longitude, enquanto as italianas e babilônicas permaneceriam inalteradas.

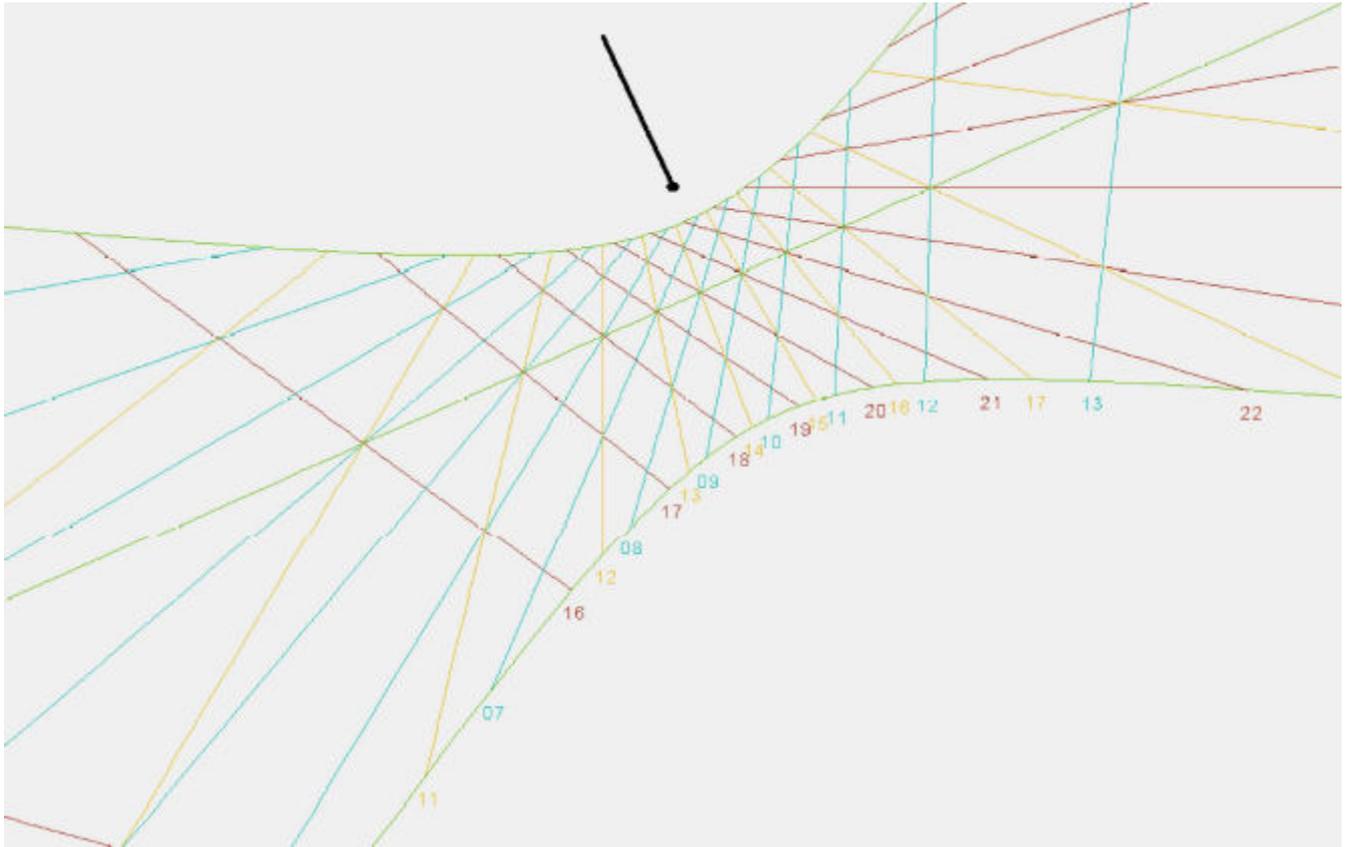


Figura 5 Horas Babilônicas, Italianas e Francesas

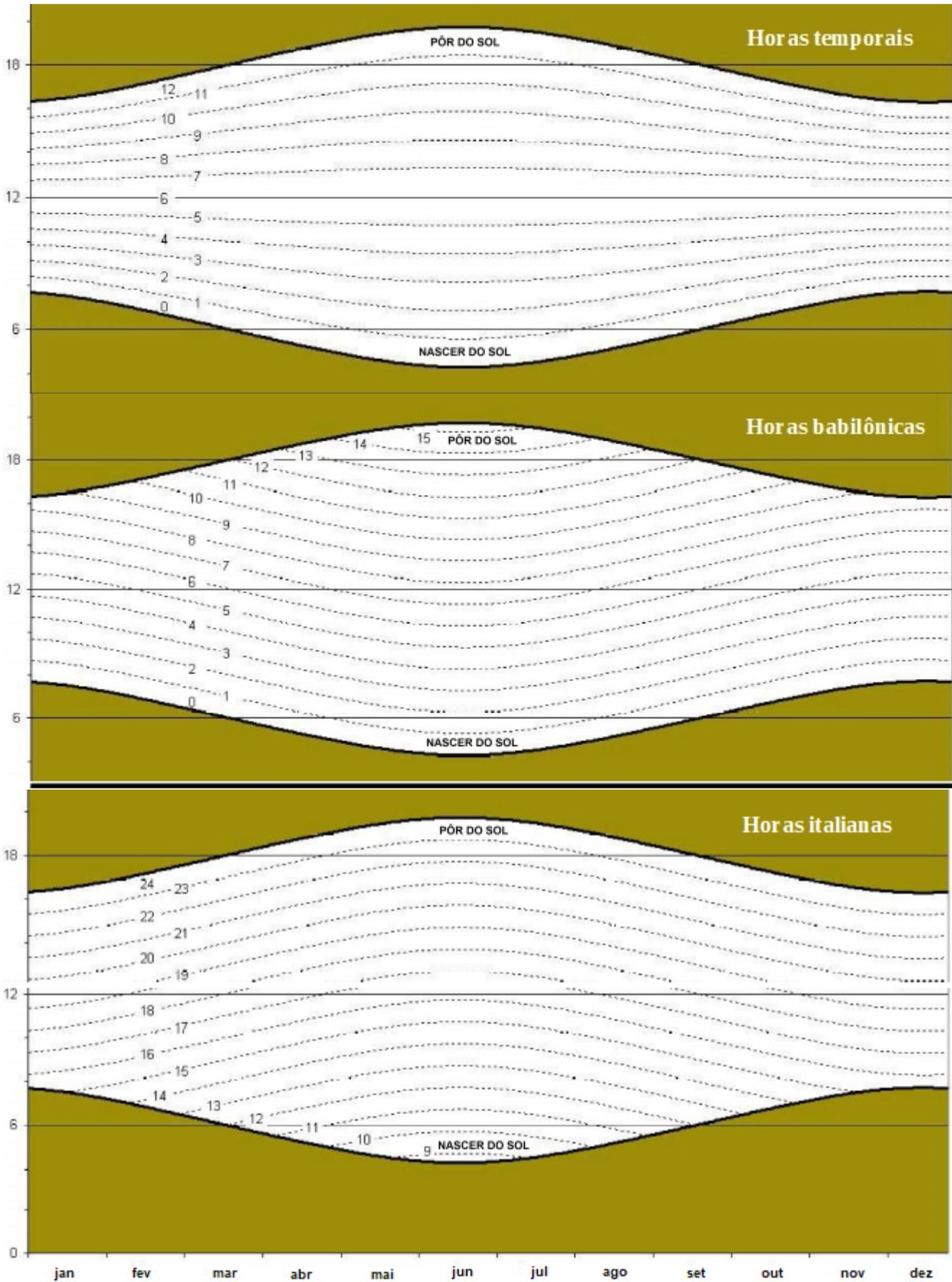


Figura 6 Comparação entre horas modernas, temporais, babilônicas e italianas durante o ano

Hora Solar Verdadeira, Hora Solar Média e Tempo Médio da Europa Central (TMEC)

O relógio de sol mostra a hora do dia com base na posição angular do Sol em relação à Terra. A hora indicada pelo relógio de sol mede o Tempo Solar Verdadeiro: está intimamente ligada à longitude do local e muda de um lugar para outro, mesmo no mesmo estado (por exemplo, o meio-dia é o instante em que o Sol está localizado no meridiano local, portanto ocorre em dois instantes diferentes para dois locais com longitude diferente).

O Tempo Solar Médio é o Tempo Solar Verdadeiro mediado ao longo do ano, para evitar variações na duração da hora durante o ano.

Foi dito, de fato, falando da Equação de Tempo que a rotação da Terra sobre si mesma não é constante e isso significa que os dias nem sempre têm a mesma duração. Desde a introdução dos primeiros relógios mecânicos, decidiu-se criar um tempo médio fictício para que os dias tivessem a mesma duração.

A medida de tempo que depende da posição longitudinal do local, Tempo Solar Verdadeiro ou Médio Solar, foi abandonada em 1800 (na Itália em 1866) para passar primeiro para o tempo médio da capital e depois para o tempo médio do fuso horário (na Itália em 1893). Essa última medida de tempo é chamada, dentro de nosso fuso horário (italiano), Tempo Médio da Europa Central (TMEC).

A diferença entre a Hora Solar e o fuso horário médio é proporcional à distância em graus entre o meridiano local e o meridiano de referência do eixo-árvore e é exatamente 4 minutos para cada grau de longitude.

Um relógio de sol pode ser projetado para indicar um dos 2 tempos:

- Tempo Solar Verdadeiro: caso em que o erro em relação ao nosso relógio é o erro de longitude adicionado à Equação de Tempo; neste caso, a linha do meio-dia será sempre vertical.

- Tempo Solar do Fuso Horário: nesse caso, o erro em relação ao nosso relógio é apenas a Equação de Tempo. A linha do meio-dia se desvia da vertical em um ângulo proporcional à distância do meridiano de referência e fica à esquerda para os lugares a Oeste e à direita aos a Leste do meridiano do fuso.

Nos dois casos, o mostrador poderá incluir a Analema: em seguida indica, pelo menos em uma determinada hora do dia, também o Tempo Médio, respectivamente local ou do fuso.

Analema ou Lemniscata

Foi dito que o Tempo Verdadeiro (aquele ligado ao movimento do Sol) e o Tempo Médio (o que o homem inventou para fins práticos) diferem em uma quantidade que varia durante o ano. Essa diferença é tempo chamada de Equação de Tempo.

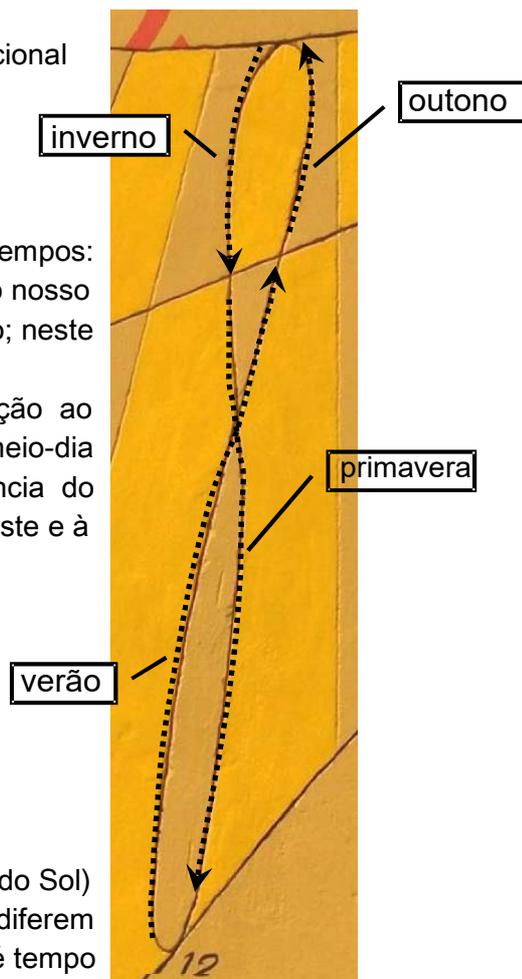


Figura 7 Lemniscata ou Analema

Um relógio de sol indica o Tempo Verdadeiro, portanto, ele precisa de uma correção para poder voltar ao Tempo Médio.

Na verdade, é possível inserir essas informações no relógio de sol.

Em vez de desenhar a linha horária correspondente à Hora Verdadeira, ponto a ponto, é traçada a posição da sombra da ponta do estilo, sempre na mesma Hora Média e durante o ano. (*)

Assim, é obtida uma curva em forma de 8, chamada Analema ou, indevidamente, Lemniscata, que permite ler a Hora Média no relógio solar.

Para não tornar o mostrador muito pesado, dificultando a leitura, é utilizado (eventualmente) em tracejamento denominado Lemniscata, apenas na linha do meio dia (4).

A sombra da ponta do estilo segue durante o ano, às 12 horas da Hora Média, uma progressão da Analema ou Lemniscata ao longo da curva (Figura 7):

- o ramo superior esquerdo (da linha do Solstício de Inverno à linha do Equinócio) durante o inverno.
- o ramo inferior direito (da linha do Equinócio ao Solstício de Verão) durante a primavera.
- ramo inferior esquerdo (da linha do Solstício de Verão até a linha do Equinócio) durante o verão.
- o ramo superior direito (da linha do Equinócio ao Solstício de Inverno) durante o outono.

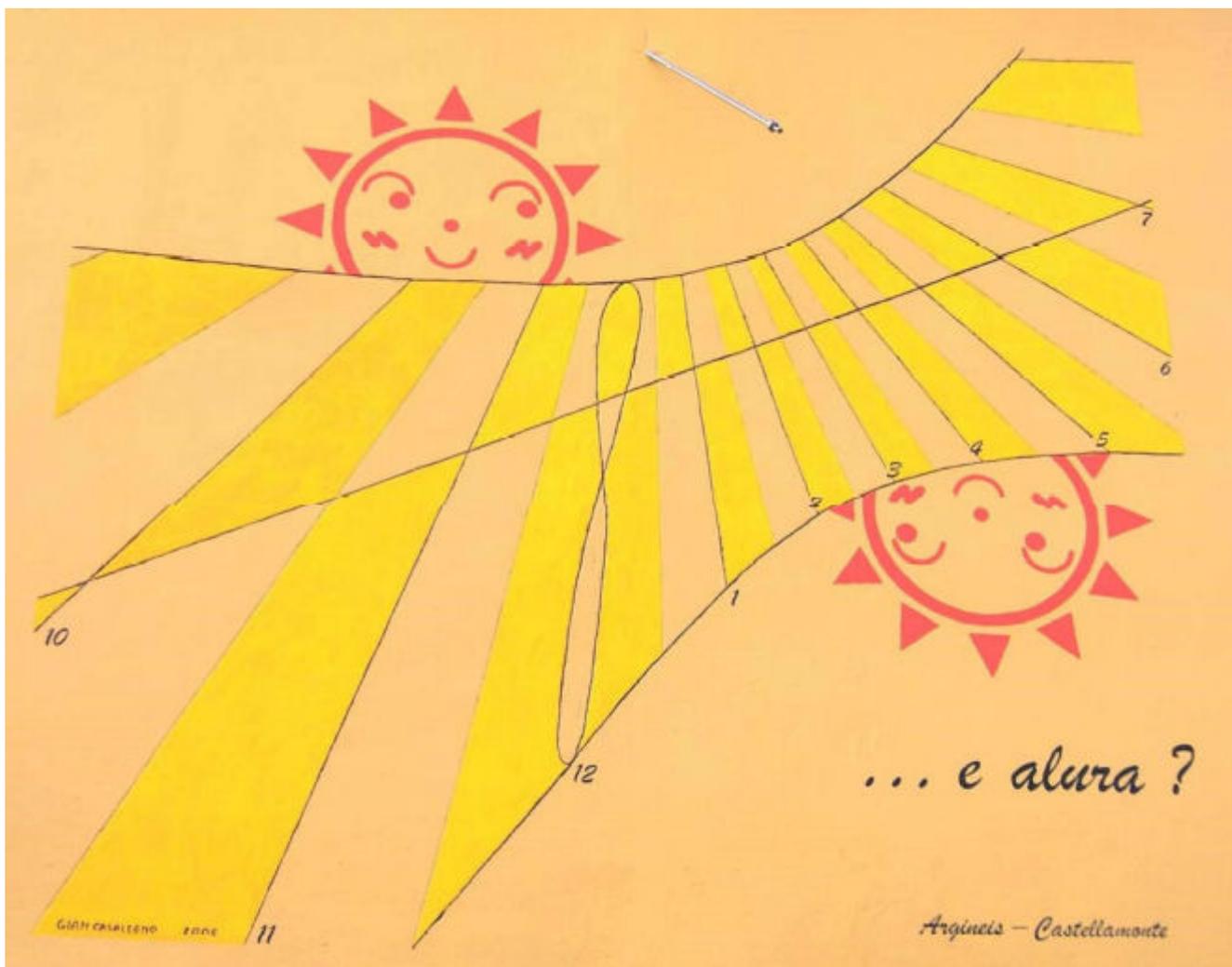


Figura 8 Relógio de sol com lemniscata ou analema

⁴ No entanto, existem mostradores em que cada linha horária é substituída pela lemniscata. Às vezes, eles são dobrados, ou seja, existem dois mostradores, cada um com metade de uma lemniscata: o primeiro para o inverno e a primavera, o segundo para o verão e o outono.

(*) NT: adota-se nesta tradução as palavras Hora e Tempo com o mesmo significado.

A foto na Figura 8 mostra um exemplo de um relógio de sol indicando o Tempo Médio da Europa Central (TMEC) com uma lemniscata na linha do meio-dia.

Para se convencer de que a analema não é uma invenção, mas sim o efeito real de um fenômeno físico (rotação constante da Terra em seu eixo), veja a fotografia na Figura 9. É a superposição de várias fotos, sempre tiradas ao mesmo tempo (12:00 no horário local) em dias diferentes durante o ano.

Mostra o desvio da posição do Sol em relação ao nosso relógio (Hora Média) e pode ser considerada a fotografia da Equação de Tempo (ou o gráfico da declinação do Sol em relação à EdT).

Estilo Tubo ou Estilo Polar

O estilo dos relógios de sol modernos está posicionada de forma a ficar paralela ao eixo da Terra e, portanto, é chamado de tubo ou estilo polar.

Ortoestilo

Nos relógios de sol mais antigos e geralmente naqueles que retratam horas canônicas, babilônicas ou italianas, o estilo é perpendicular ao mostrador e, portanto, é denominado ortoestilo.

A desvantagem desse arranjo, para as horas francesas, é que apenas a ponta do estilo indica a hora, tornando mais difícil e ainda menos agradável a leitura do relógio.

Meridiano

Na linguagem comum, nos referimos a um relógio de sol com o termo Meridiano.

Isso não está correto. O verdadeiro Meridiano é um tipo particular de relógio de sol que marca apenas o meio-dia, normalmente o meio-dia local (não o do fuso horário). Quase sempre na linha do meio-dia (ou Meridiano), os 12 signos do Zodíaco estão marcados e a lemniscata (ou analema) é frequentemente traçada.

Foi usado no passado para ajustar relógios mecânicos, que não eram muito precisos.

Famosos são os relógios de sol de câmara escura, feitos em um ambiente fechado no qual um raio de luz penetra através de um furo gnomônico, por exemplo, o da basílica de São Petronio, em Bolonha, Itália.

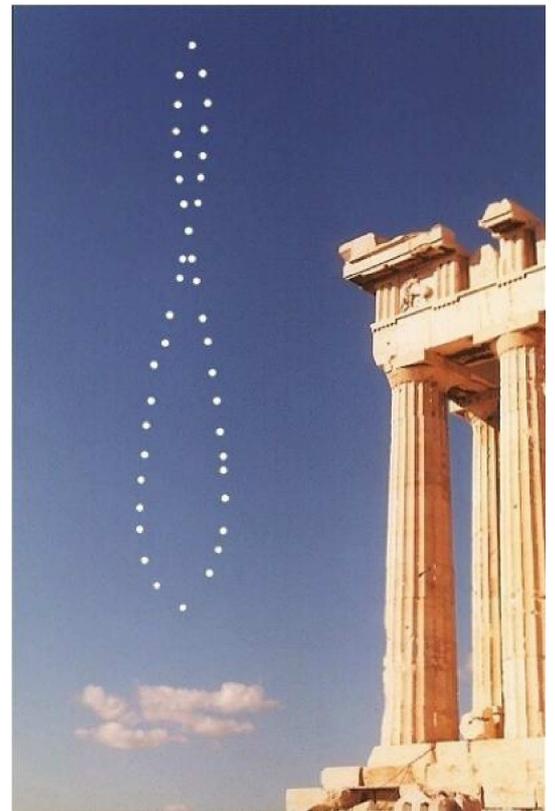


Figura 9 Analema (gentil permissão do autor Anthony Ayiomamitis)

COMO FUNCIONAM

A Terra como um relógio de sol

Como se sabe, a Terra gira em torno de seu próprio eixo, realizando uma rotação completa em 24 horas. Também gira em torno do Sol, fazendo uma revolução completa em um ano (365 dias) em uma órbita levemente elíptica (Figura 10).



Vamos pensar em isolar um único disco do Equador da Terra e imaginar o eixo da Terra como um elemento físico e não apenas virtual (Figura 11).

Os raios do Sol iluminam o disco equatorial e o eixo da Terra forma uma sombra retilínea sobre ele.

Figura 10 Movimento revolução da Terra

À medida que a Terra gira sobre si mesma, a sombra se move sobre o disco: em 24 horas a Terra completa uma rotação completa, a sombra viaja através do disco e, finalmente, após 24 horas, retorna ao ponto de partida.

Vamos imaginar então dividir o disco equatorial em 24 segmentos iguais, cada um com 15 graus (Figura 12).

A sombra do eixo da Terra, no decorrer do dia, cobrirá todos os 24 segmentos que desenhamos, exatamente um segmento a cada hora.

Se marcarmos cada linha desenhada no disco com a hora do dia correspondente, obteremos um relógio de sol (que funcionaria, nesse caso ideal, durante 24 horas por dia).

Relógio de sol Equatorial ou Equinocial

Agora imagine pegar o disco descrito, com seu eixo e levá-lo à superfície da Terra, mantendo exatamente a mesma orientação original (disco paralelo ao Equador da Terra, eixo paralelo ao eixo da Terra).

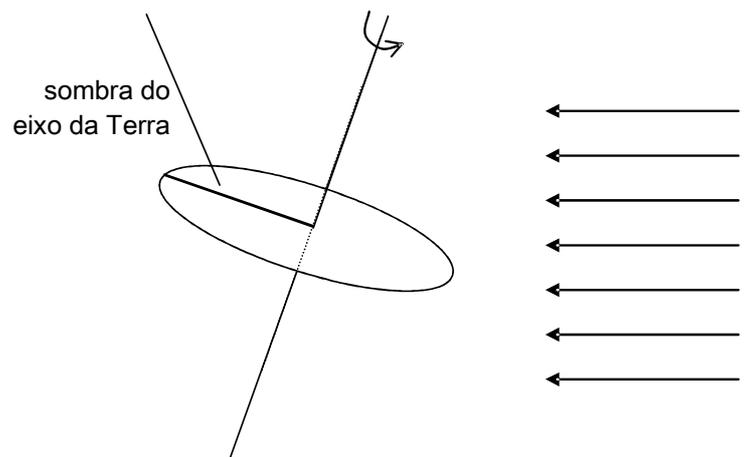


Figura 11 A Terra como um relógio (1)

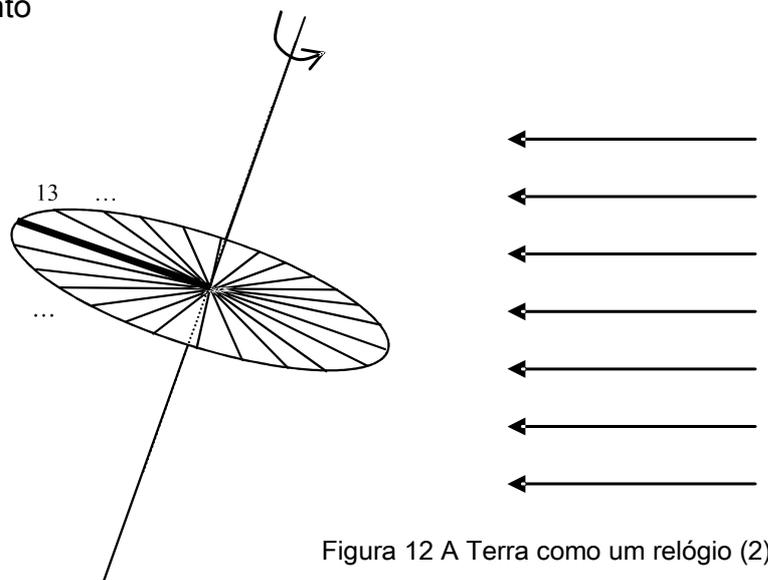


Figura 12 A Terra como um relógio (2)

Como o Sol é infinitamente maior que o tamanho da Terra, essa mudança não altera a operação descrita e o disco continua a marcar corretamente as horas.

Podemos então construir um disco real dividido em 24 partes iguais dos dois lados, inserindo um eixo perpendicular passando pelo centro e posicionando-o de maneira a manter a orientação descrita (disco paralelo ao Equador, eixo paralelo ao eixo terrestre).

Obtivemos, então, a forma mais simples de relógio de sol, a Equatorial ou Equinocial.

No entanto, deve-se notar que o eixo da Terra não é perpendicular ao plano que contém sua própria órbita em torno do sol (plano da eclíptica), mas está inclinado em $23^{\circ} 26'$.

Isso faz com que os raios do Sol atinjam a Terra em um ângulo variável durante o ano e, como conhecido, esse fenômeno causa a alternância das estações.

Consequentemente, para o relógio de sol Equatorial, acontecerá que:

- no inverno, os raios do Sol iluminam a parte inferior do disco (até o canto de $-23^{\circ} 26'$ no solstício); nosso relógio funciona com a face inferior (Figura 13).
- para os equinócios, os raios solares vêm perpendiculares ao eixo e paralelos ao disco; portanto, nosso relógio de sol não mostra nada porque todo o disco está na sombra (Figura 14).
- no verão, os raios do sol iluminam a parte superior do disco (até o ângulo de $23^{\circ} 26'$ no solstício); nosso relógio funciona com a face superior (Figura 15).

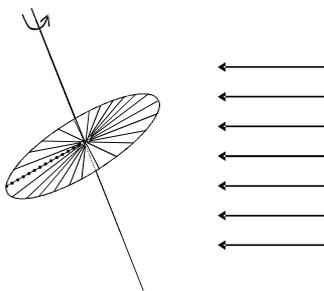


Figura 13 Equatorial no Solstício de Inverno

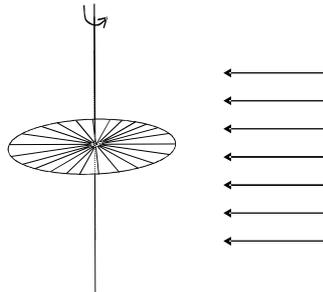


Figura 14 Equatorial nos Equinócios

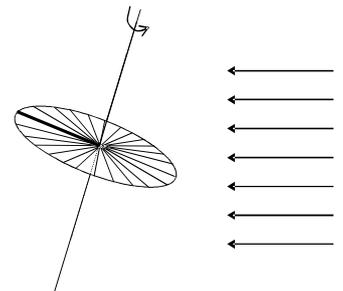


Figura 15 Equatorial no Solstício de Verão

As vantagens deste tipo de relógio de sol são:

- extrema facilidade de construção e
- ler as horas do nascer ao pôr do sol.

As desvantagens são:

- dificuldade de ler as horas em torno do Equinócio (raios solares paralelos ao disco) e durante o inverno (leitura na superfície inferior) e
- ocupação de um grande volume: portanto, precisa de um espaço aberto como um jardim.

Como o relógio equatorial deve ser posicionado? Depende da latitude φ do lugar.

Em particular, o disco é inclinado em relação ao plano horizontal por um ângulo igual a $(90^{\circ} - \varphi)$ e o eixo (estilo ou gnômon) de um ângulo igual a φ (veja a Figura 16), orientado na direção Norte-Sul.

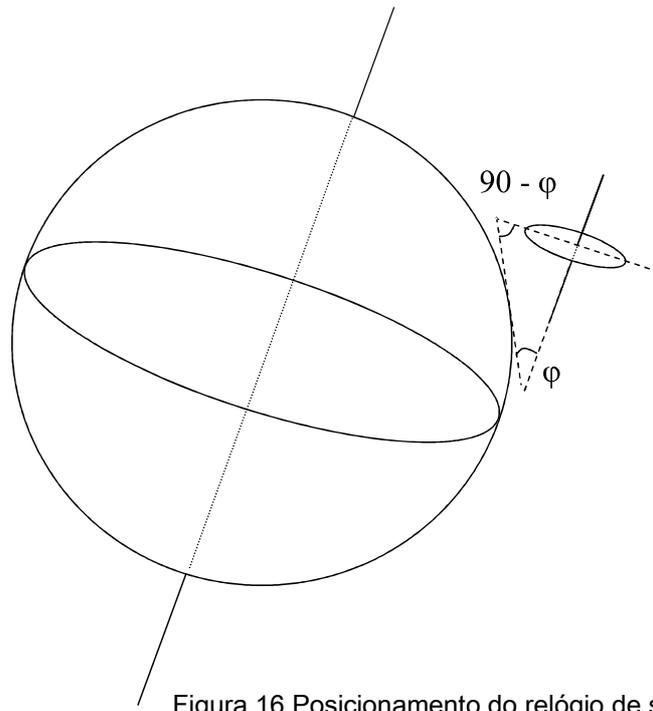


Figura 16 Posicionamento do relógio de sol Equatorial

Relógio de sol em superfícies planas, porém orientado

Agora que vimos como o relógio Equatorial funciona, vamos fazer algumas alterações em nosso modelo.

Pegue um relógio Equatorial corretamente posicionado em relação à horizontal e coloque um plano vertical para que ele cruze o disco e o eixo (Figura 17).

A sombra que o eixo (nosso estilo) projeta no disco continua evidentemente no plano vertical até encontrar o ponto de interseção entre o eixo e o plano vertical.

À medida que o Sol se move no céu, a sombra no disco se move 15° a cada hora e a sombra no plano vertical muda de acordo com isto.

Observe que o plano que desenhamos não deve necessariamente ser vertical nem com a face voltada para o Sul: é intuitivo entender que qualquer plano que cruze o disco e o eixo trará de volta uma sombra retilínea que se move ao longo do tempo e, portanto, pode indicar a hora do dia (o problema, se houver, é conseguir traçar as linhas horárias corretamente).

Por fim, observe que a sombra do estilo no plano sempre passará pelo ponto de interseção entre o estilo e o plano.

O que obtivemos é um mostrador plano com estilo polar e linhas horárias francesas.

Dependendo da orientação do plano do mostrador, podem surgir as seguintes situações particulares:

1. plano horizontal => relógio de sol horizontal.
2. plano vertical => relógio de sol vertical.
3. plano perpendicular ao estilo => relógio de sol equatorial ou equinocial.
4. plano paralelo ao estilo => relógio de sol polar.

No capítulo seguinte, veremos as várias técnicas possíveis para a construção.

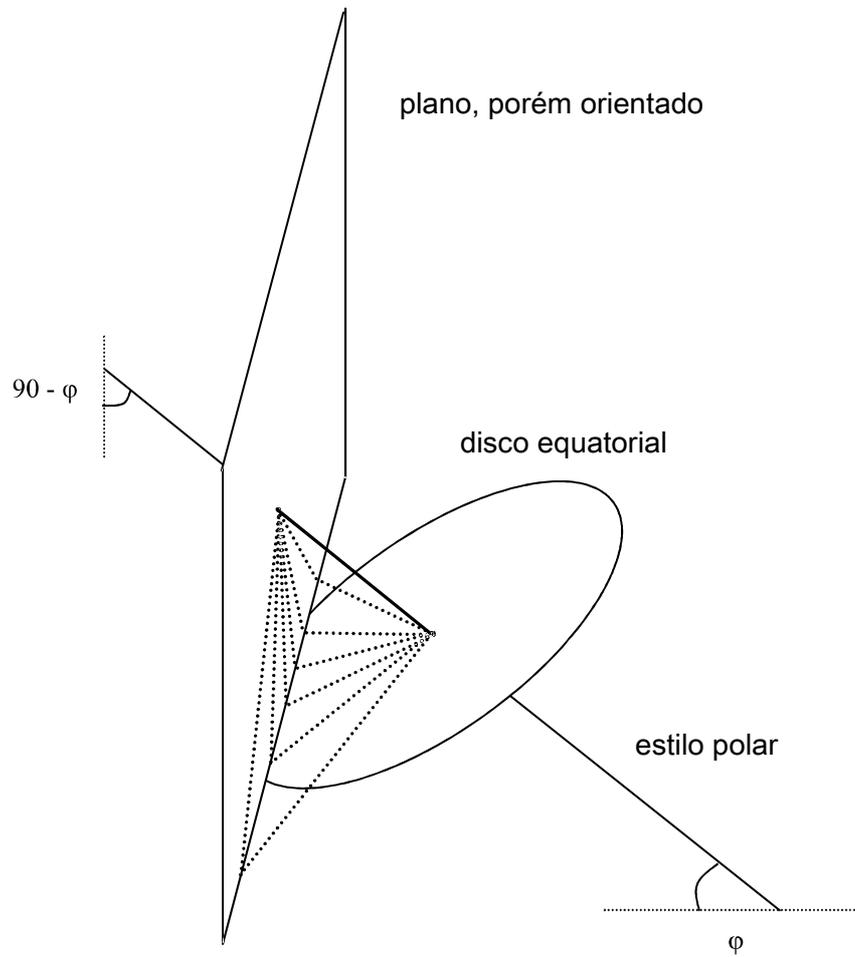


Figura 17 Relógio de sol em uma superfície plana, porém orientado



Figura 18 Relógio de sol de Cristina Marchino numa superfície fortemente declinante (165° a Oeste)

COMO CONSTRUI-LOS

Não pretendo aqui fornecer indicações exaustivas para o desenho de um relógio de sol; existem livros e livros sobre o assunto.

Meu único objetivo é responder de forma breve e abrangente (se possível) à pergunta que sempre me é feita quando falamos sobre o tópico: como você projeta um relógio de sol?

Portanto, tentarei descrever brevemente os vários métodos que podem ser usados para a construção de um relógio em uma parede vertical, com detalhes específicos para aqueles que melhor se prestam a uma melhor compreensão de como o relógio funciona, bem como as etapas preliminares necessárias para medir o relógio. parâmetros que então intervêm no projeto. Por favor, consulte o capítulo *Referências* para obter informações mais completas.

Por fim, gostaria de salientar que qualquer pessoa, mesmo quem nunca ouviu falar de relógios de sol, não conhece trigonometria, nem sequer tem o menor conhecimento de astronomia, é capaz de construir seu próprio relógio de sol, usando entre seus muitos métodos possíveis o mais agradável para si.

Método empírico

Também é dito por alguns como *método paciência*, pois são necessários meses para sua realização. Por outro lado, qualquer um é capaz de segui-lo, a única dificuldade pode ser levar em consideração a Equação do Tempo.

Uma vez escolhida a parede na qual o mostrador deve ser construído (uma parede que não é necessariamente vertical nem obrigatoriamente orientada para o Sul), um estilo é colocado na parede. Não é necessário que o estilo tenha uma orientação específica: é preferível que seja perpendicular à parede, mas apenas por razões estéticas, se não for substituído por um estilo polar.

As dimensões do estilo devem cobrir a área da parede prevista para o relógio com sua sombra. Pode ser conveniente fazer os primeiros testes no Solstício de Verão (21 de junho, HN e 22/12, HS) quando o Sol estiver mais alto no céu e, portanto, alcançar o comprimento máximo da sombra.

Nesse ponto, é necessário, a cada hora do dia em que o Sol ilumina a parede, marcar o ponto exato dela em que caia a sombra do final do estilo.

Atenção: a hora deve ser a solar e não a do Tempo Médio que marca o relógio de pulso. Portanto, consultando uma tabela da Equação de Tempo (EdT) como a apresentada anteriormente ou utilizando programas especiais que fornecem esses dados para qualquer dia do ano (por exemplo, o programa *The Dialist's Companion*, veja [14]), é necessário calcular o valor da EdT no dia atual e com esses dados corrigir a indicação do nosso relógio (5).

Por exemplo, em 26 de junho, a EdT vale 2m 50s, o que significa que o Sol está atrasado em 2 minutos e 50 segundos e o Horário de Verão está em vigor. Isso significa que, por exemplo, eventos solares 12:00:00 (12 exatos) ocorrerão às 13:02:50 (13 horas, 2 minutos e 50 segundos), 15:00:00 ocorrerão às 16:02:50 e assim por diante .

Portanto, é necessário marcar a posição da sombra às 8:02:50, às 9:02:50 etc. marcação próxima à hora (a solar) da medida (7, 8 etc.).

Você obterá um arranjo na parede semelhante ao da Figura 19. Por algumas horas, não será possível marcar a sombra, pois ela ficará fora do mostrador. Mas isso não importa.

⁵ Lembre-se também de um possível Horário de Verão!

Agora é necessário repetir a mesma operação em uma época diferente do ano. Supondo que a primeira foi realizada em torno do Solstício de Verão, repetimos tudo agora no Solstício de Inverno (21 de dezembro).

Adicionando as novas referências na parede, obteremos a situação da Figura 20.

Observe que agora algumas horas para as quais não foi possível marcar a sombra estão marcadas no desenho, pois o Sol mais baixo no horizonte trouxe a sombra do estilo de volta ao mostrador.

Se fizermos tudo corretamente, juntando os pares de pontos correspondentes às mesmas horas com uma linha reta e estendendo a linha em direção ao topo, descobriremos que todas as linhas convergem no ponto C (Figura 21).

Desde então, todas as linhas devem se encontrar em C, também podemos desenhar as linhas para as horas em que tínhamos apenas um ponto, juntando esse ponto a C (na figura, as horas 9, 10 e 16).

Obtivemos assim todas as linhas horárias (6).

Se quisermos adicionar as linhas diurnas, devemos realizar as medições descritas exatamente nas datas dos solstícios (21 de junho e 21 de dezembro) e depois juntar os pontos obtidos entre elas.

Para inserir a linha dos equinócios, como sempre é reta, é suficiente que um dos dois equinócios (21 de março ou 23 de setembro) marque uma sombra em dois momentos do dia, bem distantes um do outro, e junte os dois pontos com uma linha reta (Figura 22).

Nosso relógio de sol está completo.

Resta decidir se deixamos o estilo que usamos até agora, cuja sombra marca a hora apenas na ponta ou se o substituímos por um estilo polar, que marca a hora com toda a sombra, sendo sobreposta nas linhas horárias.

O estilo polar do nosso mostrador é simplesmente aquele que se encaixa na parede no ponto C e termina com a outra extremidade no mesmo ponto no espaço onde estava a ponta do estilo provisório.

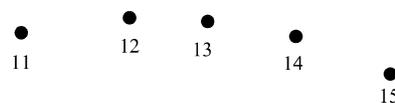


Figura 19 Método empírico • passo 1

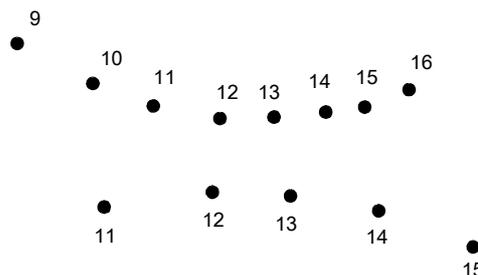


Figura 20 Método empírico • passo 2

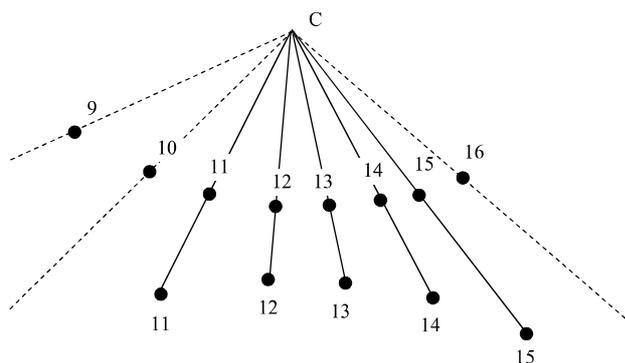


Figura 21 Método empírico • passo 3

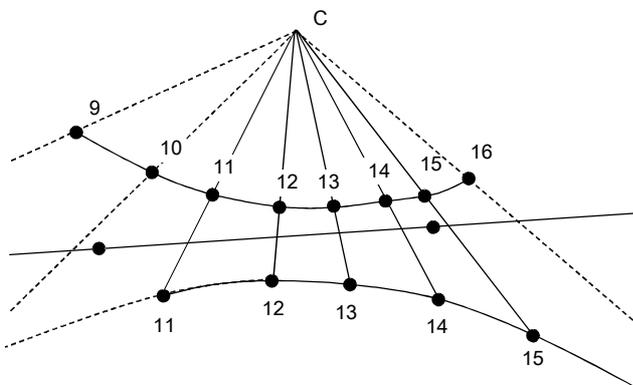


Figura 22 Método empírico • passo 4

⁶ Se não corrigirmos a hora com a EdT, não obteríamos um único ponto C como cruzamento entre as linhas horárias. De fato, nesse caso, os pontos não pertenceriam a uma linha horária, mas seriam quaisquer dois pontos da analema correspondente, que não estão necessariamente alinhados e, portanto, podem levar ao traçado de linhas absolutamente erradas.

A Figura 23 ilustra talvez o melhor procedimento.

Coordenadas geográficas do lugar

O primeiro dado indispensável para o desenho de um relógio de sol (a menos que o método empírico seja usado) é o conhecimento das coordenadas geográficas (latitude e longitude) do lugar. Esses dados afetam o posicionamento do estilo e a orientação das linhas.

Para obter essas instruções, você pode seguir várias rotas:

- Consulte um Escritório Técnico Municipal (somente Itália), é possível que eles saibam responder.
- Consulte um mapa suficientemente detalhado da área, por exemplo, os mapas militares IGM 1: 25000. Eles relatam as coordenadas geográficas das extremidades da folha, nas quais é possível interpolar para obter as coordenadas do ponto desejado.
- Use o programa *Google Earth* que fornece, juntamente com a exibição por satélite da área pesquisada, também as coordenadas geográficas.
- Consulte um receptor GPS.

Qualquer que seja o método, no final haverá dois ângulos, normalmente expressos em graus, do arco (sexagésima parte de um grau) e segundos de arco (sexagésima parte de um arco). Por exemplo, Castellamonte possui as coordenadas 45° 22' 57" Norte e 7° 42' 48" Oeste (7).

Declinação da parede

Declinação da parede significa a orientação da própria parede em relação ao Sul (Figura 24).

Esses dados devem ser medidos com cuidado especial, pois afetam fortemente o projeto (novamente, o método empírico não requer essas informações).

O método mais preciso, mas não o único, creio ser o seguinte:

Uma linha de prumo é colocada em frente à parede e o ângulo que a sombra do cordão forma com relação à parede é medido em uma superfície horizontal (Figura 25).

Marque também a data e a hora exatas da medição.

Em seguida, compare o ângulo alfa medido com o azimute do Sol no momento da medição (que pode ser obtido, por exemplo, com o programa *The Dialist's Companion*, veja [14]) e, assim, obtenha o desvio da parede em relação ao Sul ou sua declinação.

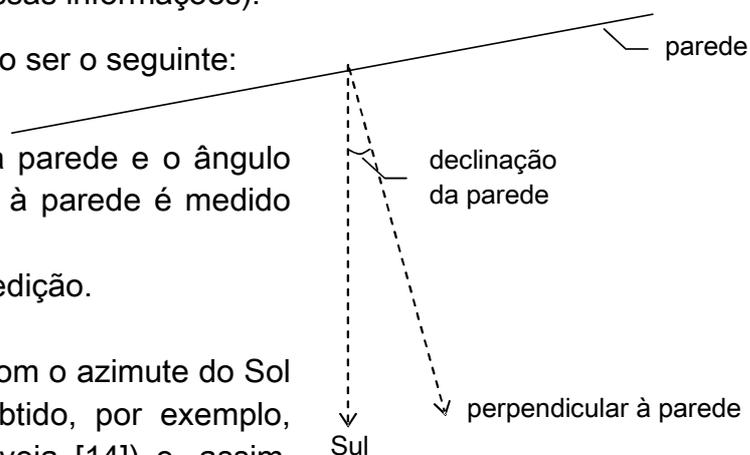


Figura 24 Declinação da parede

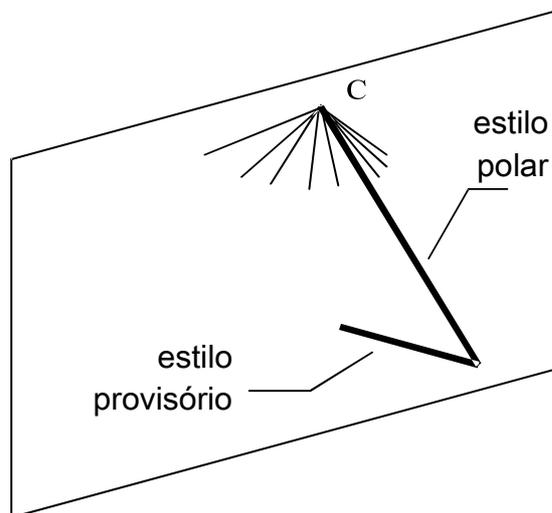


Figura 23 Método empírico • passo 5

⁷ Deve-se notar que o último e também o primeiro, variam muito em um território tão pequeno quanto o de Castellamonte: o erro, no entanto, cai dentro das tolerâncias obtidas na construção do relógio de sol.

O resultado é novamente um ângulo, desta vez com sinal (positivo para declinação para Oeste, negativo para declinação para Leste).

Por exemplo, suponha que você faça três medições em 19 de setembro de 2005 às 10:27, 13:33 e 17:48 num lugar cuja latitude seja 45° 22' 57" Norte e longitude 7° 42' 48" Leste.

O azimute do Sol será calculado para as três medições.

Se forem utilizadas fórmulas matemáticas, é necessário voltar do Tempo Médio da Europa Central (TMEC) para a Hora Solar Local verdadeira, executando as seguintes operações:

- remova 1 hora, pois o Horário de Verão está em vigor.
- subtraia o valor da Equação de Tempo (neste caso negativo, para que o Sol esteja antes do Tempo Médio).
- remova o erro de longitude (a localização é 7° 17' 12", ou seja, 7,29 do meridiano de referência, correspondendo a $4 \times 7,29 = 29,16$ minutos = 0:29:09 horas, esse número deve ser subtraído, pois a localização é a Oeste do meridiano de referência, então o Sol está atrasado).

Às 10:27 da TMEC, por exemplo, a Hora Solar Local é igual a:
 10:27:00 - 1:00:00 - (-0:06:11) - 0:29:09 = 9:04:02

Em correspondência com esse tempo real, é calculado o azimute do Sol (8), que neste caso vale 0,54,51 (em relação ao meridiano local, ou seja, em relação ao Sul, portanto, com valores negativos para manhã ou nascer do sol e valores positivos para tarde ou pôr do sol).

Como alternativa, você pode fazer com que o programa faça todas as contas, certificando-se de definir as opções corretamente (latitude, longitude, fuso horário, horário de verão, correção em longitude) e obter imediatamente o valor do azimute.

Nesse ponto, a declinação da parede pode ser calculada como:

$$d = 90^\circ - \text{alfa} + \text{azimute}$$

O ângulo medido às 10:27 com o método descrito é 12,5; portanto, a declinação da parede é:
 $90^\circ - 12,5 + (-54,51^\circ) = 22,99^\circ$

⁸ Para calcular o azimute, é necessário conhecer o valor da declinação do Sol no dia da medição, que pode ser obtido em tabelas ou programas específicos.

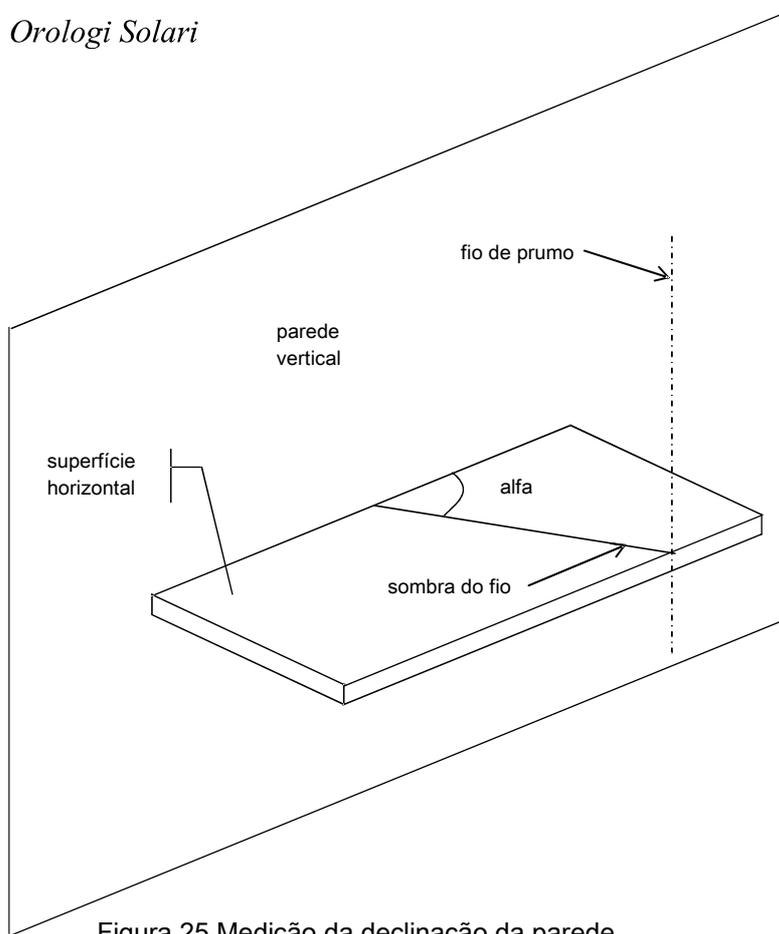


Figura 25 Medição da declinação da parede

Realize algumas medições em diferentes horas e/ou dias e, eventualmente, descarte os resultados notavelmente diferentes de todos os outros (e, portanto, provavelmente afetados por erros de medição nada desprezíveis), uma média é feita e o resultado final é usado como uma declinação da parede.

data	hora TMEC	Equação de Tempo	hora solar local	declinação solar	azimute solar para o Sul	alfa	d
19/09/2005	10:27:00	- 0:06:11	9:04:02	1.38°	-54.51°	12.5°	22.99°
19/09/2005	13:33:00	- 0:06:14	12:10:05	1.33°	3.62°	69.3°	24.32°
19/09/2005	17:48:00	- 0:06:18	16:25:09	1.27°	73.53°	140.2°	23.33°

Nesse caso, a média fornece 23.55° ou 23° 33'.

Ainda mais simples é medir a posição da sombra no meio-dia local verdadeiro (portanto, corrigida com erro de longitude e EdT) para que, num azimute = 0, a declinação da parede seja obtida diretamente como:

$$d = 90^\circ - \text{alfa}$$

Como alternativa a todos esses cálculos, você pode usar meu programa [18], que fornece diretamente o resultado, começando pelas coordenadas geográficas, data e hora da medição e ângulo (veja a figura 39).

As fotos na Figura 26 mostram o instrumento que construí para medir a declinação da parede de acordo com o método descrito.

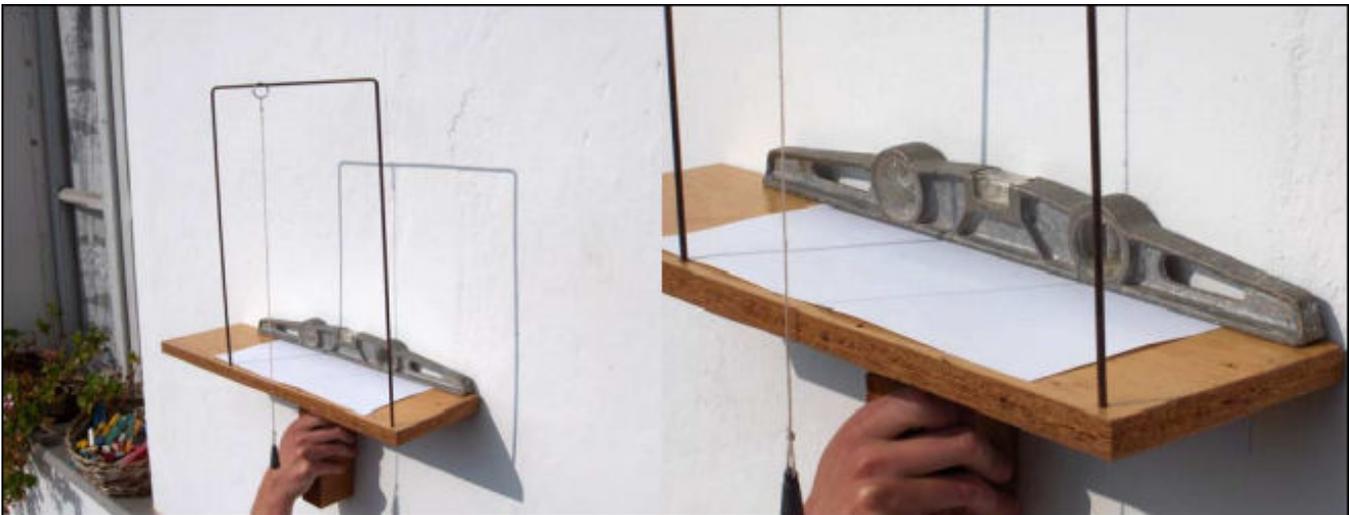


Figura 26 Medida da declinação

É um esquadro de madeira que se inclina contra a parede e tem uma superfície perpendicular.

Um nível de bolha me permite posicioná-lo horizontalmente. Em um suporte de metal, para uma linha de prumo cuja sombra é projetada em uma folha de papel na qual eu traço a linha de sombra e a linha da parede, da qual posteriormente meço o ângulo e, com o meu programa, calculo a declinação da parede.

Posicionamento do estilo

Nesse ponto, com todos os dados necessários (latitude, longitude e declinação), você pode definir a posição do estilo.

Antes de tudo, definimos as grandezas envolvidas (Figura 27).

Subestilo é a projeção ortogonal CM do estilo na superfície do mostrador.

Define-se a distância subestilar como o ângulo HCM que o subestilo CM forma com a linha do meridiano local CH .

Define-se como altura subestilar como o ângulo MCR que a estilo CR forma com relação à sua projeção CM no mostrador.

Como sabemos, e estilo polar deve estar paralelo ao eixo da Terra.

Para uma parede vertical perfeitamente voltada para o Sul, o estilo fica em um plano vertical perpendicular à parede (plano do meridiano local) e forma um ângulo de $90^\circ - latitude$ (Figura 28).

Se a parede estiver com uma orientação diferente (ou seja, declinante) em direção a Leste ou Oeste, imagine que o estilo permaneça imóvel no plano do meridiano e que a parede gire para Leste ou Oeste. Temos as duas situações da Figura 29 e Figura 30.

O ângulo entre o estilo e a parede não é mais o mostrado na Figura 28 e deve ser determinado de alguma forma com base na latitude e declinação da parede.

Resumindo:

- numa parede exatamente exposta ao Sul, o subestilo coincide com o meridiano local, a distância do subestilo é, portanto, 0° e a altura do subestilo é $90^\circ - latitude$ (Figura 28).
- para uma parede declinante a Leste ou Oeste, o ponto M é respectivamente à esquerda ou à direita de H (Figura 29 e Figura 30)

Um primeiro método para a colocação do estilo ainda é empírico. Não requer conhecimento da declinação da parede, é simples, mas não preciso.

Construa o triângulo CHR em um pedaço de papelão ou material fino e rígido: o ângulo HCR é $90^\circ - latitude$, o ângulo CRH $latitude$ e o ângulo CHR 90° .

Coloque o lado CH do triângulo na vertical com o vértice C posicionado no ponto da futura articulação do estilo.

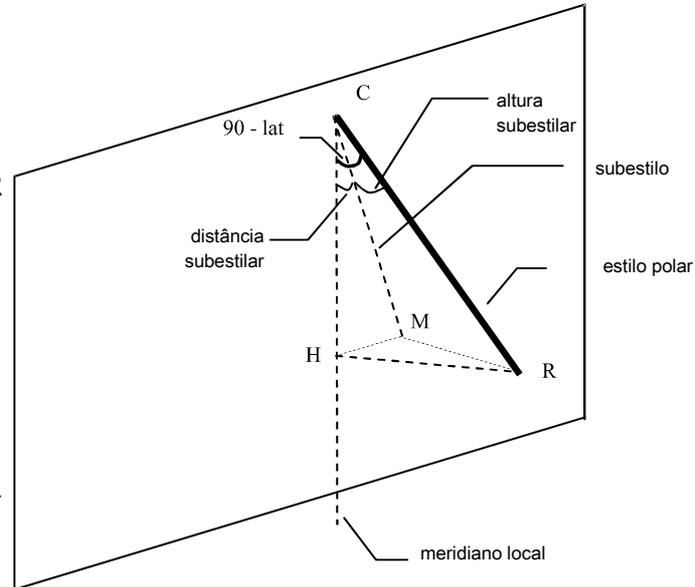


Figura 27 Elementos do gnômon

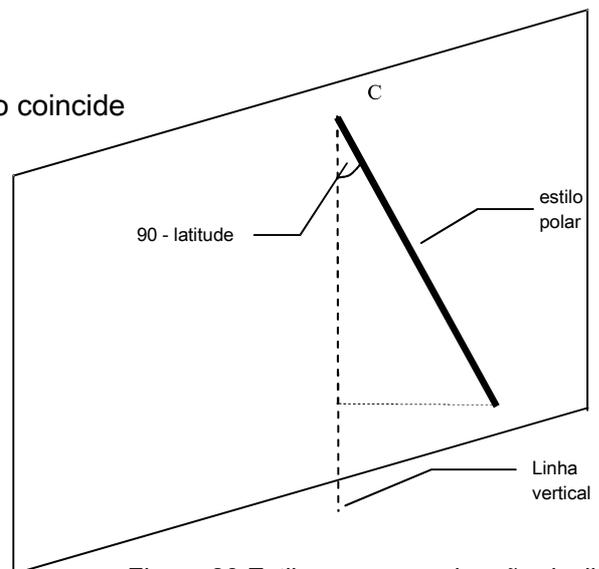


Figura 28 Estilo numa parede não declinante

No meio-dia local verdadeiro (12:00 corrigido em erro de longitude e com a Equação de Tempo aplicada), gire o triângulo em torno de CH até que a sombra do lado CR esteja exatamente na vertical (meridiano local) . A posição assim encontrada é tal que o CR coincide com um estilo polar (9).

Outro método é o *gráfico*, ou seja, é necessário traçar linhas na parede com uma linha de prumo e uma bússola para obter o resultado obtido graficamente (consulte o capítulo *Método gráfico*).

Um outro método, o mais preciso na minha opinião, exige a execução de alguns cálculos trigonométricos ou, ainda mais simplesmente, o uso de programas de cálculo já disponíveis.

Veja o capítulo *Método matemático*.

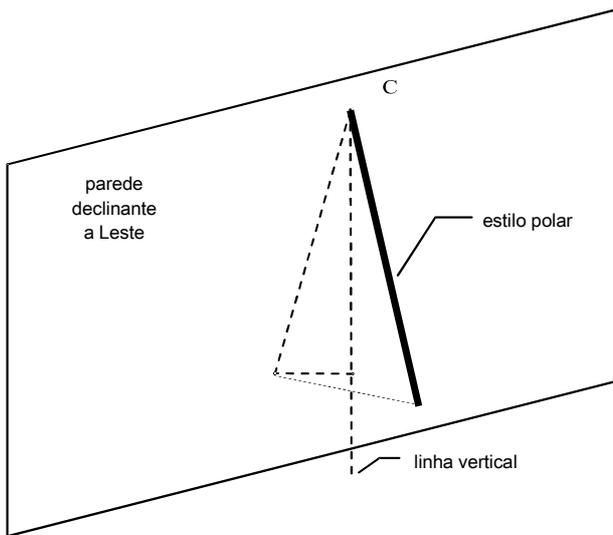


Figura 29 Estilo em uma parede declinante a Leste

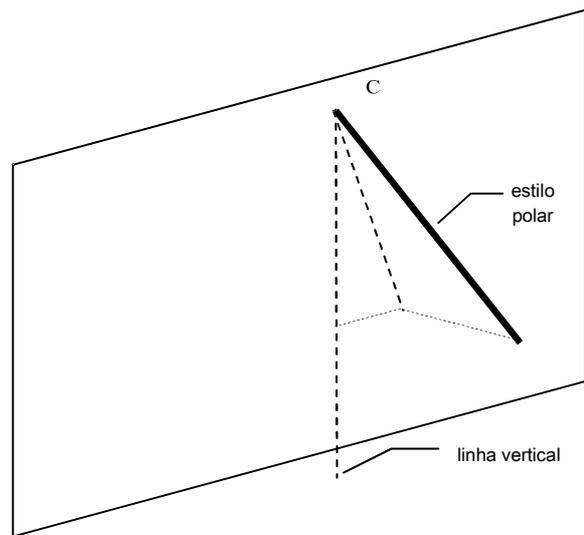


Figura 30 Estilo em uma parede declinante a Oeste

⁹ Esse método, além de não ser muito preciso, é aplicável apenas a paredes que não sejam muito inclinadas. De fato, quanto mais a declinação aumenta, mais o comprimento da parte traseira aumenta e o ponto C se afasta mais, até atingir o caso extremo de declinação igual a $\pm 90^\circ$ onde um tubo é paralelo à parede e o ponto de intertravamento Ce a linha do meridiano local estão localizados a uma distância infinita.

Nota sobre a instalação do estilo

Instalar um estilo na parede não é uma tarefa fácil. Pode ser útil para esse fim usar um dispositivo semelhante à da Figura 31.

É um dispositivo semelhante a uma tabuleta com um suporte que permite fixá-la à parede, mantendo-a perpendicular à própria parede. Na tabuleta também existe um sistema para fixação do estilo, neste caso, duas barras equipadas com parafusos e buchas.

Depois de traçar o estilo e feito o furo na parede para fixar o estilo, fixar o suporte na parede com as buchas. Os furos de fixação do suporte devem ser ranhurados para poder fixá-lo da maneira mais precisa quanto possível no lugar.

O estilo é fixado ao suporte e todos os seus parâmetros são medidos com precisão (altura do suporte, estilo ortogonal e o tubo). Verifique também a perpendicularidade da placa na parede e corrija-a, se necessário, usando os pontos de apoio do suporte.

Quando tiver certeza da posição, poderá cimentar o estilo e fechar o furo.

No final da operação, após a remoção do suporte, é recomendável verificar a vertical CH e, se necessário, refazê-la.



Figura 31 Posicionamento e fixação do estilo

Método com disco equatorial

Esse método não é muito fácil de implementar, mas, na minha opinião, tem a vantagem de esclarecer melhor o mecanismo de trabalho de um relógio de sol, de fato. O caminho que os raios do sol realizam marcando a ora do dia é simulado.

Na Figura 17, vimos como, com um relógio de sol Equatorial, podemos explicar o funcionamento de um mostrador numa parede vertical.

Aproveitando esse conceito, uma vez que um tubo foi posicionado corretamente na parede, é possível traçar as linhas horárias e também, se quiser, as linhas diurnas sem cálculos adicionais ou processos gráficos complexos.

No entanto, primeiro é necessário construir um instrumento como o da Figura 32.

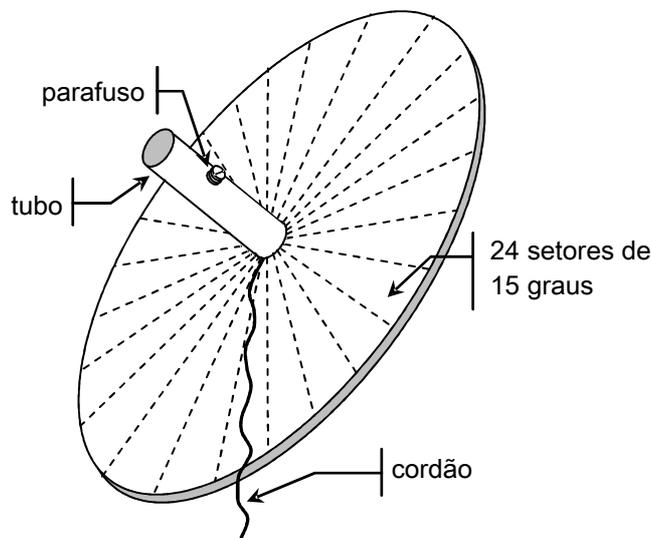


Figura 32 - Disco equatorial auxiliar

Ainda é um disco, cuja superfície é dividida em 24 partes de 15° cada. No centro do disco, em vez de um estilo perpendicular, como num relógio Equatorial, um tubo perpendicular com diâmetro interno suficiente para permitir que o estilo, que foi fixado na parede, seja posicionado. Um parafuso permite fixar o tubo no estilo na posição desejada. Além disso, um cordão deve ser conectado ao tubo para permitir a obtenção da posição das linhas horárias na parede.

Depois que o tubo estiver devidamente fixado na parede, insira o tubo do disco equatorial no estilo e, em seguida, fixe-o de uma das seguintes maneiras:

1. Relógio indicando a hora local (sem correção em longitude - Figura 33).

Estique um cordão para que fique paralelo ao disco e toque na linha vertical desenhada a partir do ponto C (que é a linha do meio-dia local), gire o disco para que uma das linhas traçadas em sua face coincida com o cordão e aperte o parafuso para prender o disco ao estilo. A linha que coincide com o cordão é a das 12 horas, sucessivamente à direita e à esquerda, há as horas posteriores e anteriores.

Como alternativa (mas me parece menos preciso), é possível posicionar o disco com a ajuda de um nível para que a linha que une as 6:00 horas às 18:00 seja horizontal.

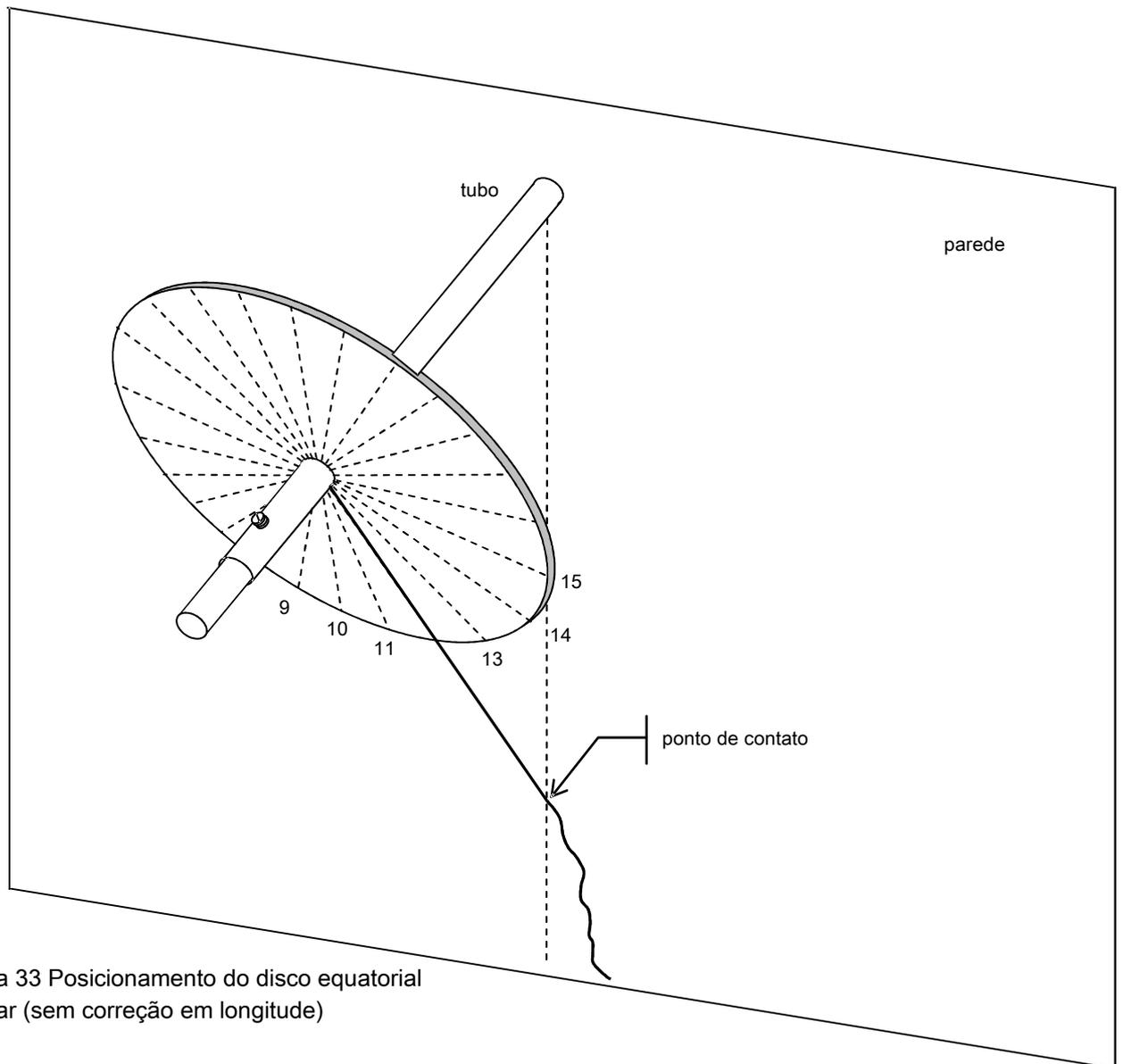


Figura 33 Posicionamento do disco equatorial auxiliar (sem correção em longitude)

2. Relógio indicando a hora do fuso horário (com correção da longitude - Figura 34).

Antes de tudo, é necessário traçar, em um setor do disco, o desvio que deriva da longitude do lugar: calculada a diferença em graus entre a longitude local e a do fuso horário. Ela é relatada em um setor do disco, como mostra a Figura 34.

Em seguida, proceda como no ponto 1, mas, neste caso, o cordão terá que coincidir com a linha que acabou de desenhar, enquanto na parede o cordão sempre terá que tocar na linha vertical de C (que ainda é o meio-dia local, mas não o do eixo, este último coincide com a próxima linha de 15°).

Ao traçar no disco a linha correspondente à diferença de longitude em graus, para saber se isso deve ser colocado à esquerda ou à direita da linha entre 15°, lembre-se de que:

- para um lugar a Oeste do meridiano de referência do eixo (por exemplo, em Turim, Itália) na parede, o meio-dia do fuso horário permanece à esquerda da linha vertical (meio-dia local).
- para um lugar a Leste do meridiano de referência do eixo (por exemplo, em Bari, Itália) na parede, o meio-dia do fuso horário permanece à direita da linha vertical (meio-dia local).

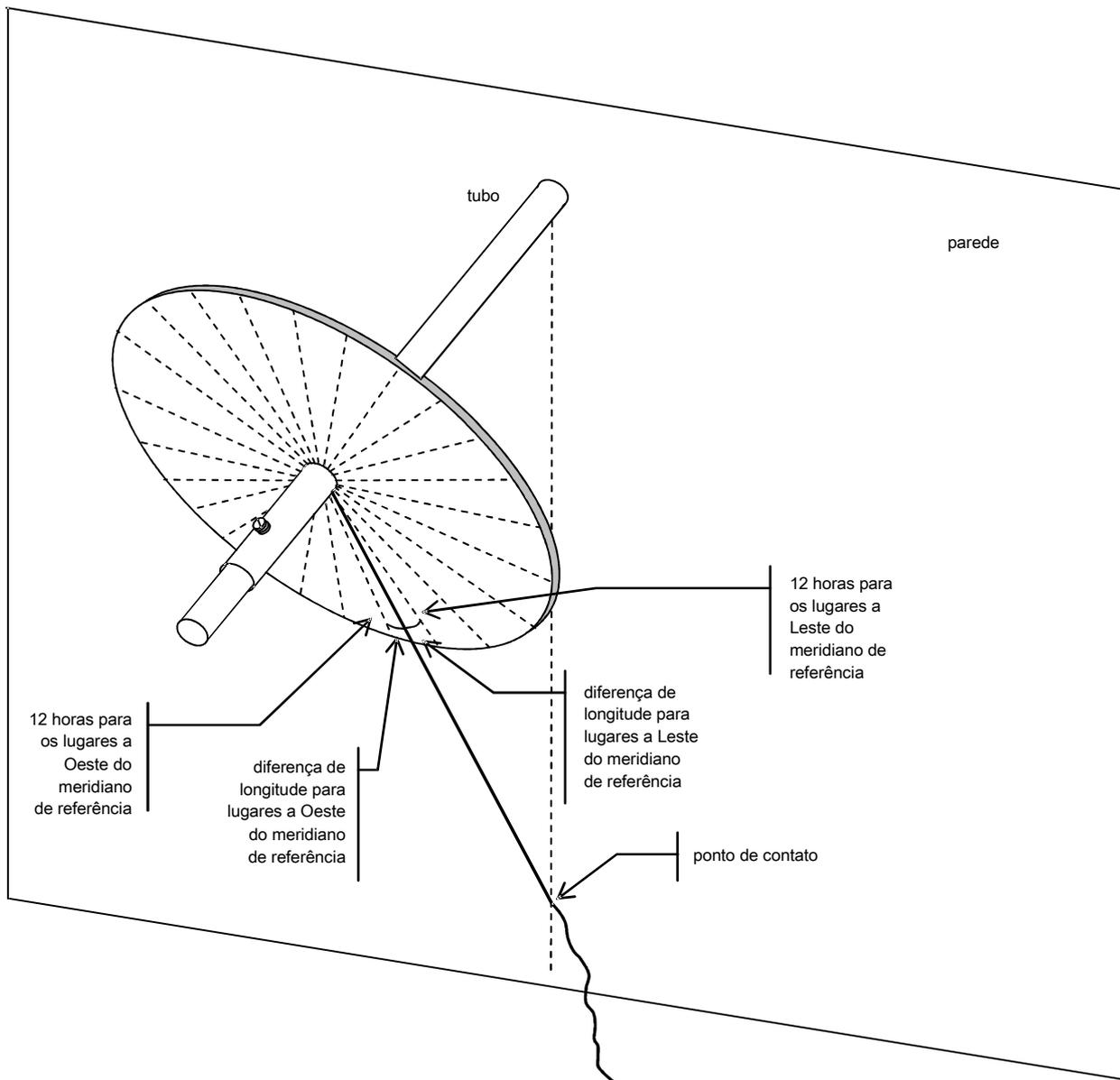


Figura 34 Posicionamento do disco equatorial auxiliar (com correção em longitude)

Agora que o disco está firmemente preso ao estilo, em ambos os casos o cordão é movido de tempos em tempos nas linhas traçadas em sua superfície, mantendo-a sempre paralela e aderente ao disco e marcando o ponto de encontro na parede.

Esses pontos serão aqueles que, unidos ao centro C, nos fornecerão as linhas horárias.

No caso 1, teremos a linha 12 coincidindo com a vertical de C (que é o meridiano local).

No caso 2, teremos o meio-dia à esquerda da vertical para os lugares a Oeste do meridiano do fuso horário, à direita para os a Leste do meridiano do fuso horário.

A Figura 35 mostra a situação de um lugar a Oeste do meridiano do eixo (por exemplo, Turim, Itália).

Na prática, o que estamos fazendo é simular com um cordão o caminho dos raios solares para os equinócios (raios paralelos ao Equador terrestre) e procurar o ponto em que eles marcam na parede a sombra do estilo. Portanto, é necessário que o cordão gire em torno do tubo central do disco, mantendo sempre o mesmo ponto de ancoragem em relação ao estilo, para que, quando esticado, desenhe uma linha reta passando pelo centro (sempre o mesmo) do estilo.

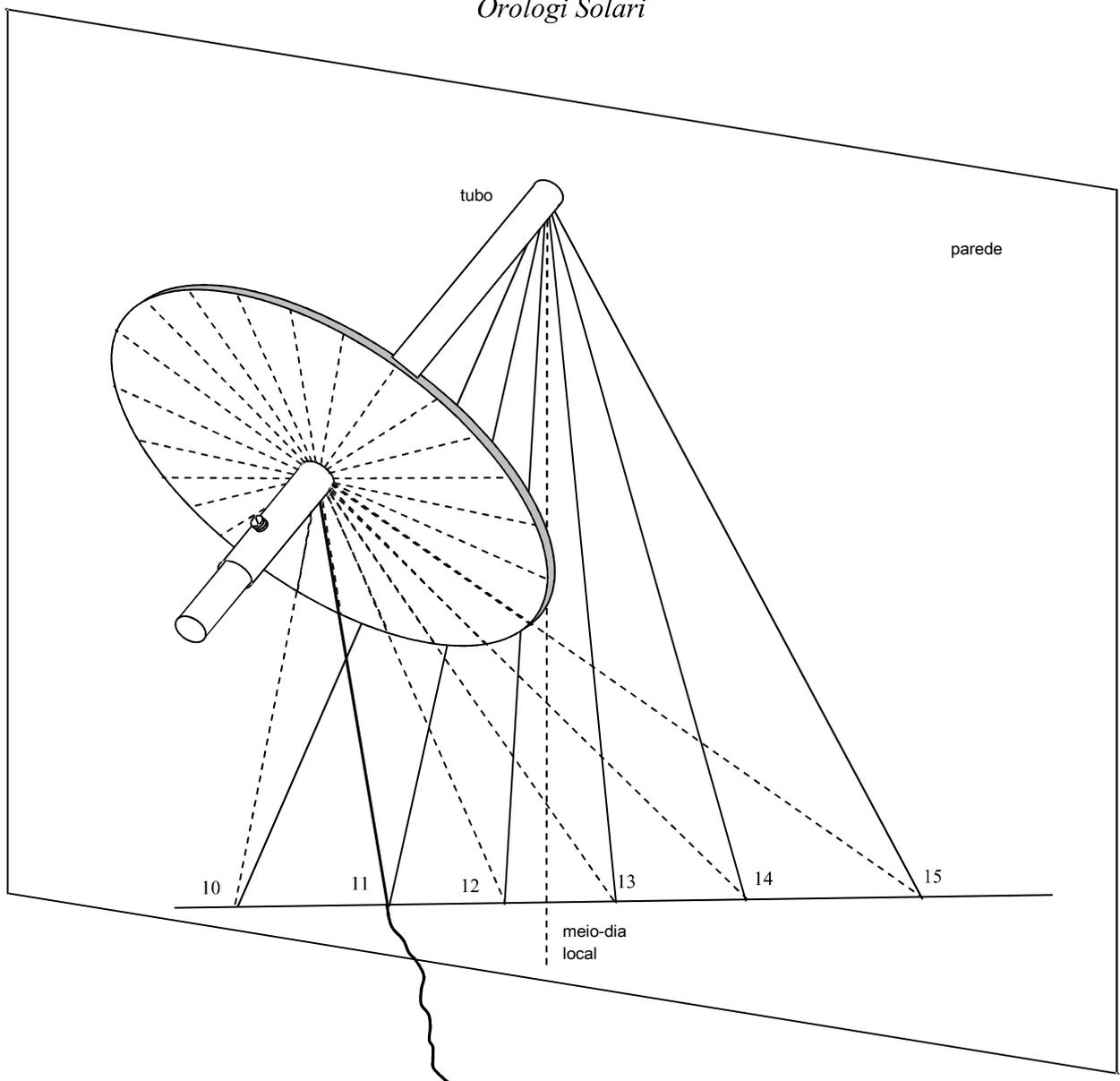


Figura 35 Traçado da linha horária com disco equatorial auxiliar

Observe também que os pontos traçados são aqueles tocados nos equinócios pela sombra da ponta do estilo no qual fixamos o cordão; portanto, se este é o ponto que indicará as estações, também obtivemos a linha diurna dos equinócios. Como esta é uma linha reta, devemos encontrar todos os pontos marcados na parede alinhados em uma linha reta.

Se também queremos desenhar as linhas diárias dos solstícios, precisamos construir um novo dispositivo, para que o cordão esticado também possa simular os raios do sol inclinados $23^{\circ} 26'$ em relação ao Equador terrestre (e, portanto, em relação ao nosso disco).

Na prática, ainda é um tubo a ser fixado no estilo, ao qual está conectado um cordão e um indicador graduado que permite inclinar o cordão em relação ao disco equatorial na quantidade desejada de graus, em particular $\pm 23,5^{\circ}$ (Figura 36).

Para cada linha horária traçada, o instrumento é posicionado de forma que o cordão, mantido firme e paralelo ao plano do instrumento, toque a própria linha. Inclinando o cordão nas três posições indicadas, obtém-se a interseção da linha horária com as linhas de três dias (solsticiais e equinociais). O ponto que indicará a estação no mostrador é o ponto de ancoragem do cordão ao estilo.

Finalmente, é importante observar que esse método funciona para qualquer parede plana, mesmo que não seja vertical, desde que o estilo tenha sido posicionado corretamente.

Assim, é possível simplesmente desenhar um relógio de sol em uma superfície plana que seja de qualquer forma orientada.

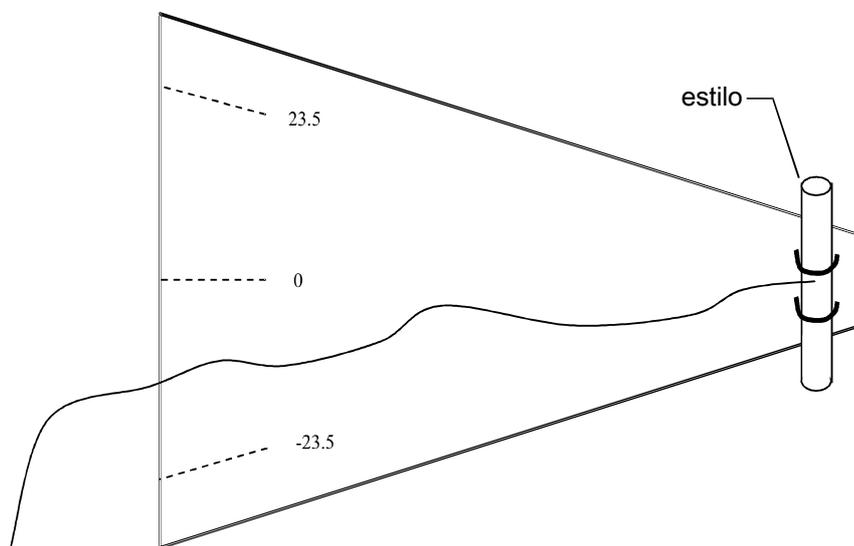


Figura 36 Dispositivo para traçar linhas diárias

Método Gráfico

Esse método sofre com o acúmulo potencial de erros que podem ser facilmente cometidos durante o longo processo de desenho.

Além disso, o desenho resultante tem um charme especial e seria digno de ser deixado na parede, mesmo quando o relógio terminasse.

Começa com o cálculo do posicionamento do estilo. Como vimos, para uma parede Sul perfeitamente exposta, ela estaria em um plano vertical perpendicular à parede e formaria um ângulo de $90^\circ - \text{latitude}$ com ela. Para uma parede inclinada, é necessário calcular a distância e a altura do subestilo.

O processo consiste na prática no rebatimento dos triângulos CHR e HMR da Figura 27 no plano do mostrador.

Começamos (Figura 37) com uma linha horizontal AB localizada abaixo de C, centro das linhas horárias e ponto de fixação do tubo.

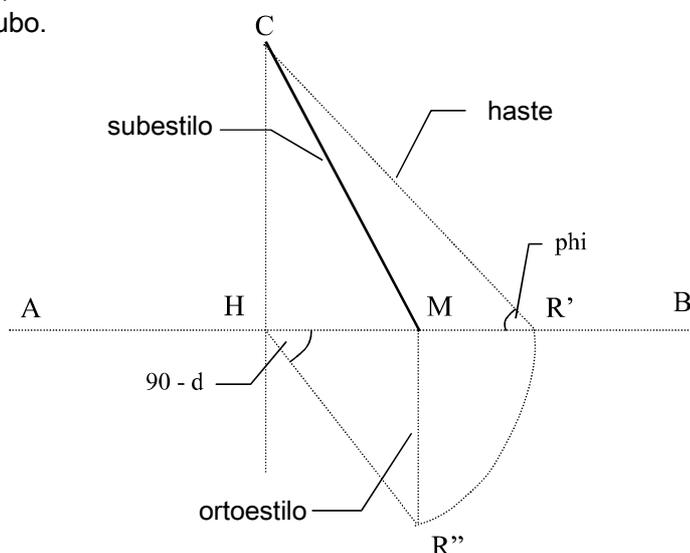


Figura 37 Pesquisa gráfica para distância e altura do subestilo.

A linha CR' é traçada tal que o ângulo HR'C seja igual à latitude j do lugar. O segmento CR' corresponde ao comprimento do estilo R', está à direita de C para declinações para Oeste, à esquerda de C para declinações para Leste.

A linha H é traçada a partir de H' tal que o ângulo R''HR' é igual ao complemento da declinação da parede, ou seja, $90^\circ - d$.

De H é traçado um arco de círculo com um raio HR' que irá cruzar HR'' em R''. De R'' traçamos uma perpendicular a AB, identificando assim o ponto M.

A linha reta CM é o sub-estilo desejado, enquanto R''M corresponde ao comprimento do ortoestilo.

O triângulo gnomônico será, portanto, composto pelos lados CR' (tubo), CM (subestilo) e RM (ortoestilo). As linhas horárias devem agora ser traçadas.

O processo é muito parecido com o que vimos no método com o equatorial; na verdade, é uma questão de projetar o equatorial corretamente disposto no plano do mostrador e derivar as linhas horárias dele. Este procedimento pode ser encontrado nas referências no apêndice, em particular [2] e [8].

Método matemático

É o método mais preciso para traçar linhas no mostrador que compõem o relógio de sol, mas também é o que menos permite entender sua operação.

Aplicando fórmulas trigonométricas, ver ref. [2] e [13], tendo disponíveis os valores de latitude e longitude do lugar e declinação da parede, é possível calcular a posição das linhas horárias e diurnas.

Se por um lado, os cálculos possam ser longos e trabalhosos, hoje, com um PC e uma planilha de cálculo, tudo se torna muito mais fácil e rápido.

No entanto, para aqueles que não desejam ou não podem aplicar as fórmulas diretamente, existem vários programas de cálculo, incluindo um *freeware* (consulte as ref. [18] [20] e [21]) que não apenas executam todos os cálculos, mas também oferecem uma apresentação gráfica do resultado; é muito útil ter uma ideia preliminar da forma que o mostrador terá e depois determinar a declinação da parede.

No meu site, em <http://digilander.libero.it/orologi.solari/download/download.html> está disponível gratuitamente um programa que chamei, com muita imaginação, de **Orologi Solari**, que permite ao projeto:

- relógio de sol horizontal
- relógio de sol vertical declinante
- relógio de sol Equatorial
- relógio de sol polar
- relógio de sol analemático
- relógio de sol por projeções ortográficas e estereográficas
- relógio de sol monofilar

O relógio pode indicar a hora local ou a de qualquer fuso horário.

No mostrador, podem ser traçadas as horas francesas, italianas, babilônicas, temporais, de crepúsculo, eclípticas, ascendentes, azimutais e de altura (elevação).

Também é possível traçar a analema ou lemniscata ao meio-dia ou em todas as linhas.

Ele contém algumas ferramentas úteis que raramente estão disponíveis noutros programas:

- cálculo da declinação da parede
- cálculo da iluminação da parede durante o ano
- simulação de sombra durante o dia e durante o ano
- simulação da sombra de telhados, fachadas e varandas
- simulação da sombra de prédios adjacentes
- cálculo de parâmetros de projeto de mostradores antigos (engenharia reversa)

Uma ajuda on-line, além de uma ajuda contextual, ajuda a entender e usar o programa.

O programa de instalação também instala um protetor de tela: depois de projetar seu relógio, você pode usá-lo para visualizar a posição da sombra no seu mostrador em tempo real (obviamente apenas em condições de iluminação, com sol no horizonte e mostrador iluminado) .

As imagens nas páginas seguintes ilustram alguns dos recursos do programa.

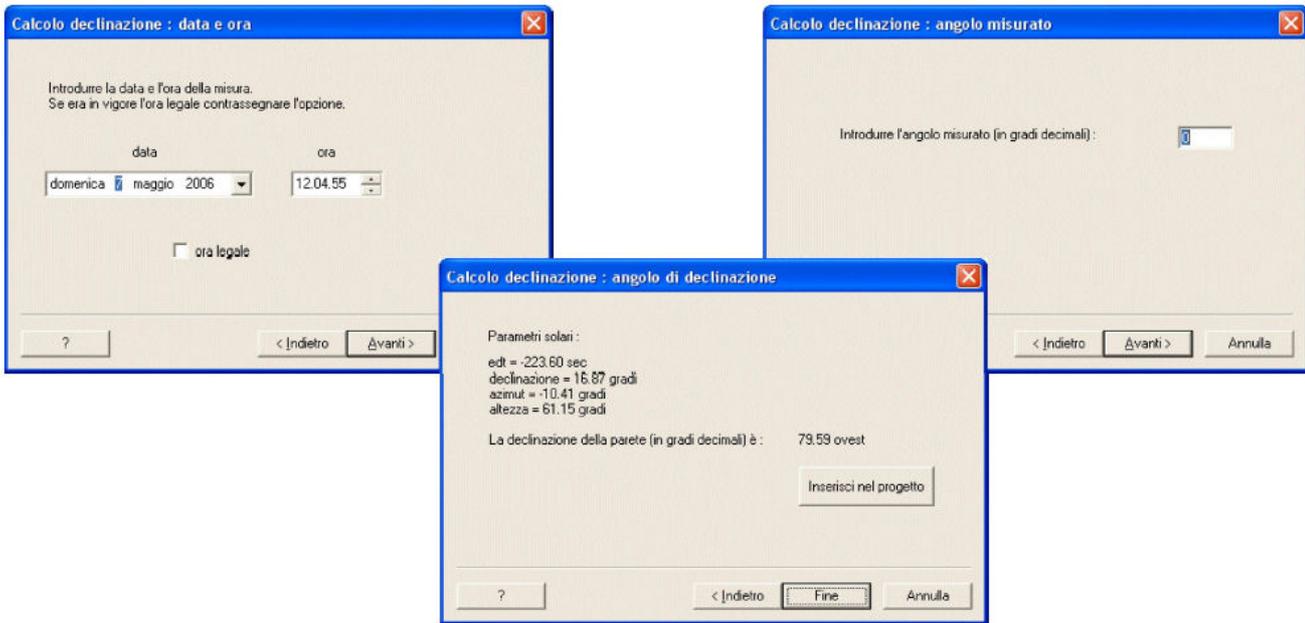


Figura 39 Cálculo da declinação da parede

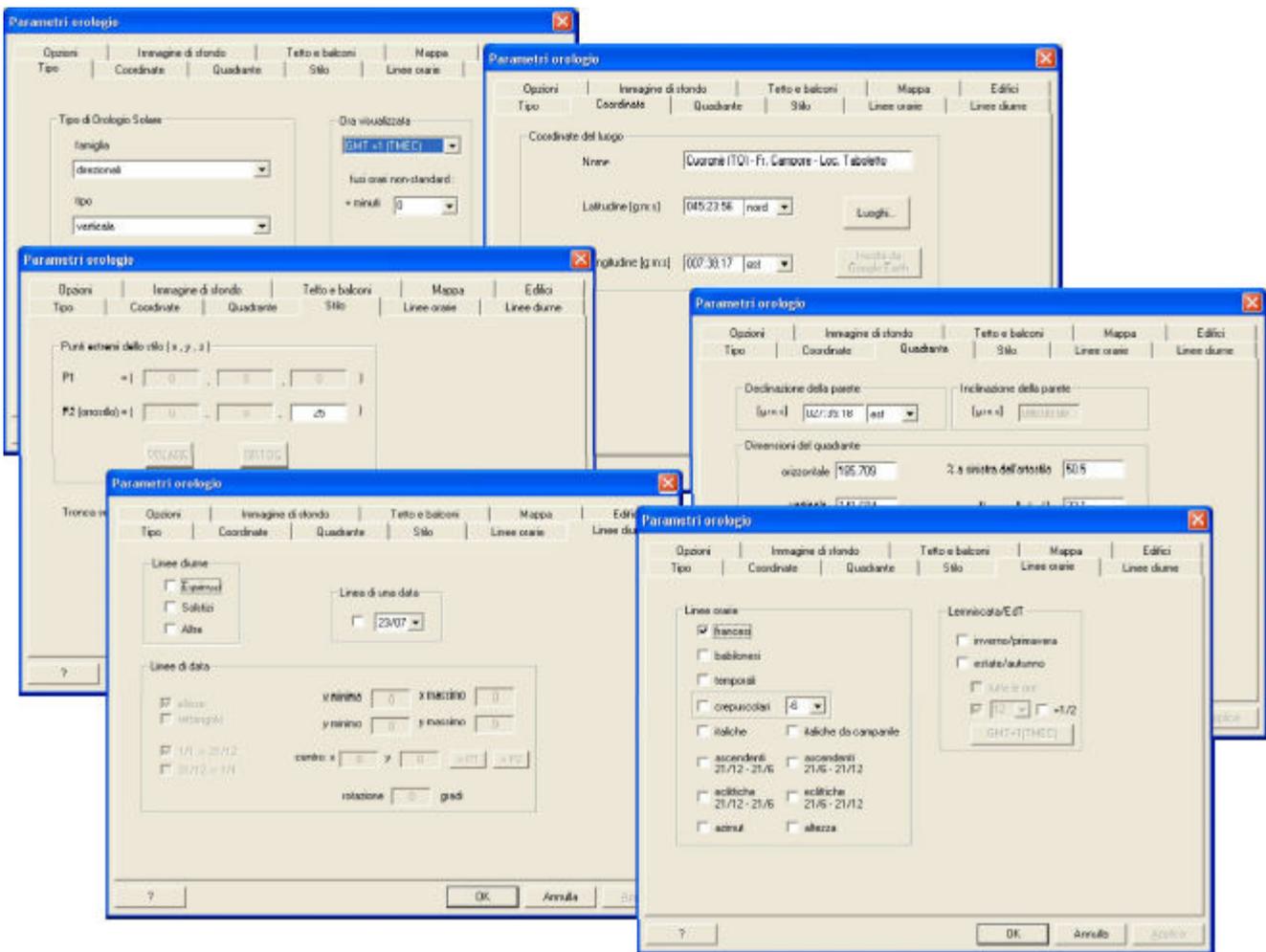


Figura 40 Ajustando os parâmetros do relógio

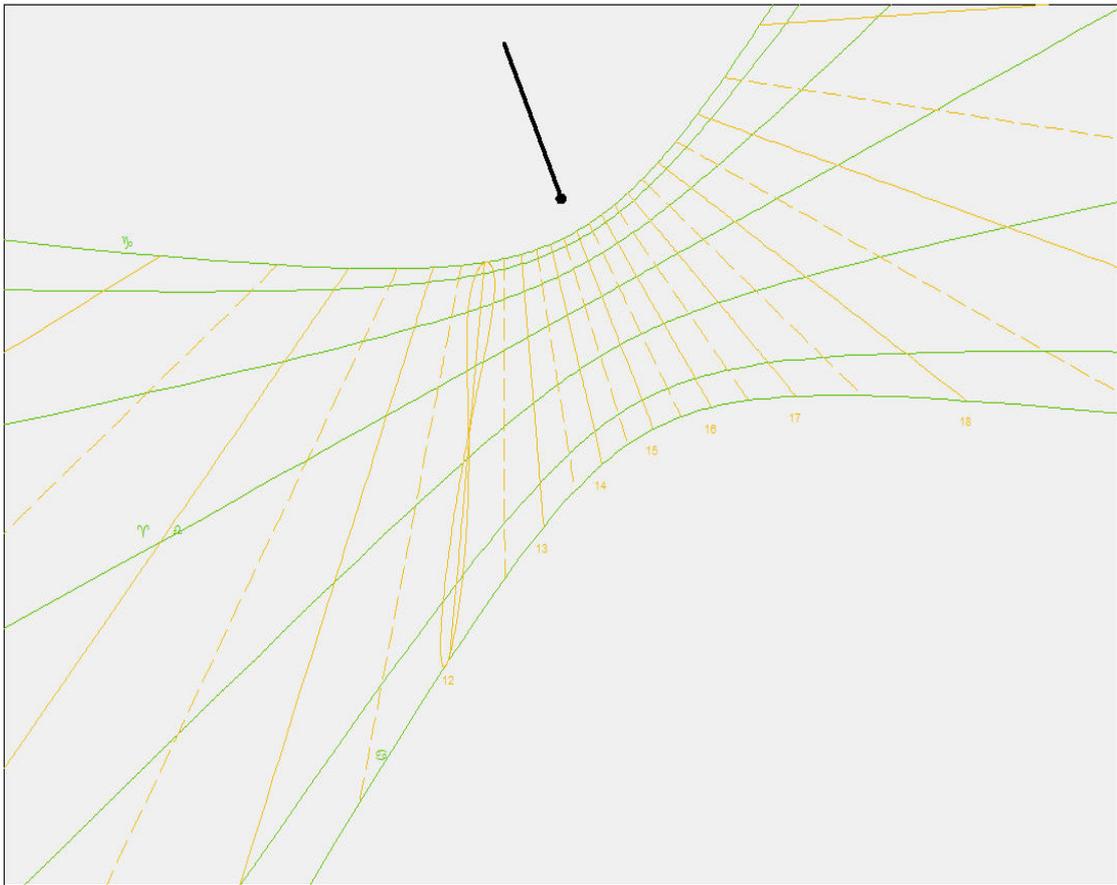


Figura 41 Visualização do mostrador

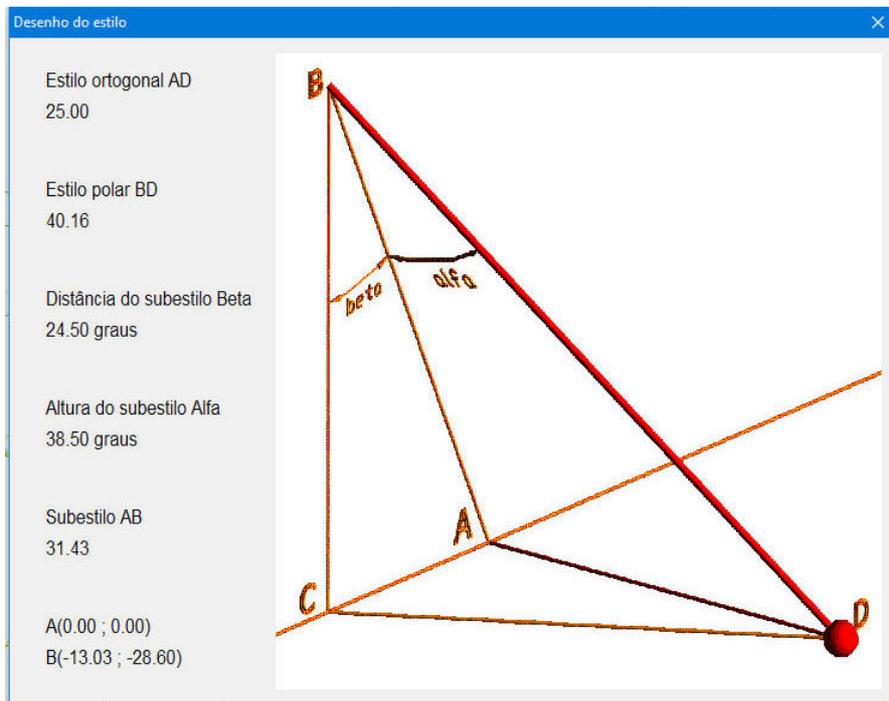


Figura 42 Exibição das dimensões do estilo

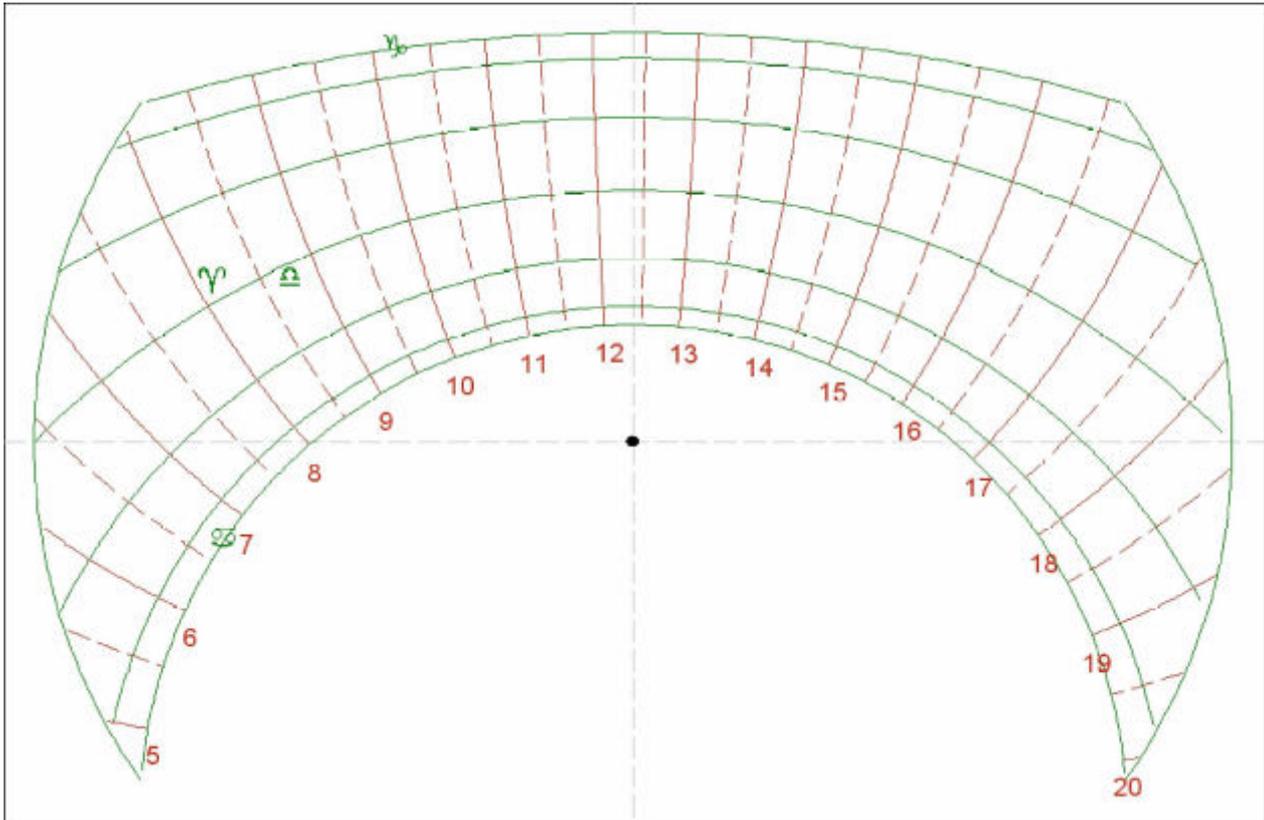


Figura 43 Astrolábio horizontal

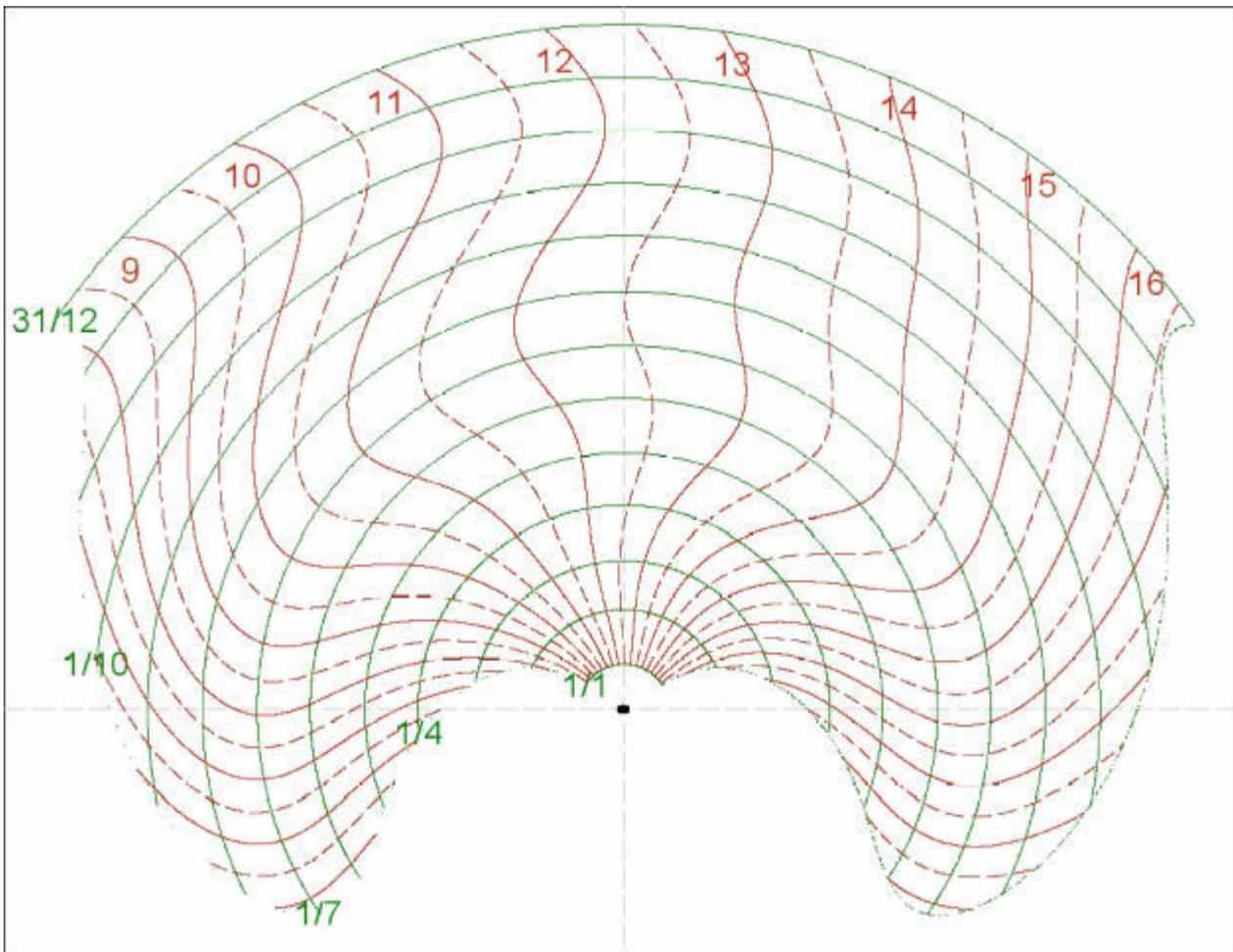


Figura 44 Monofilar horizontal

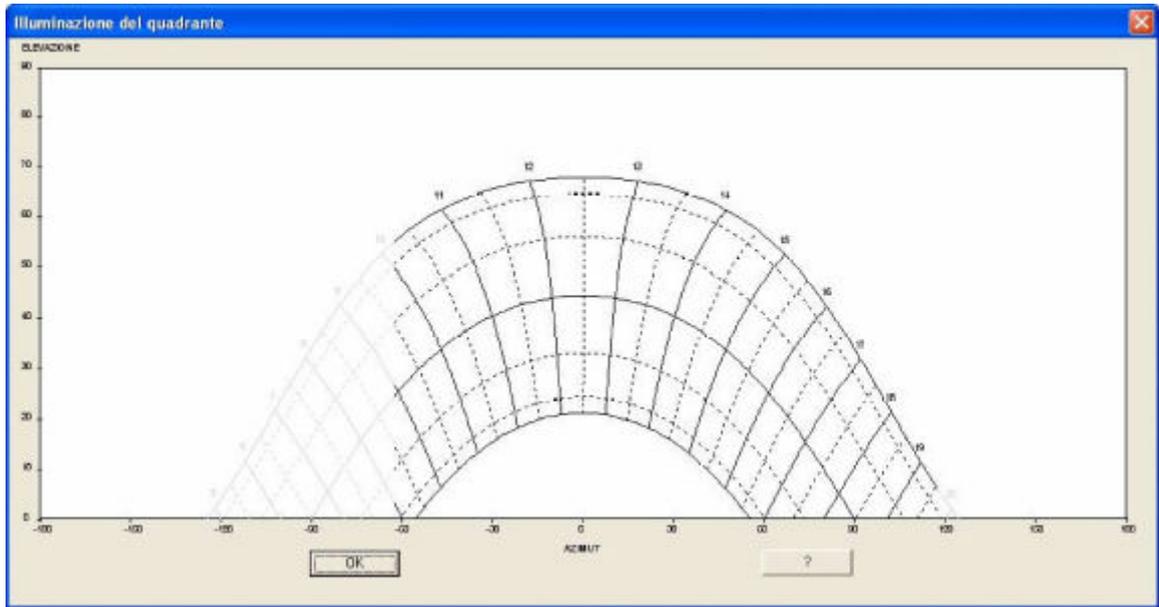


Figura 45 Cálculo das condições de iluminação

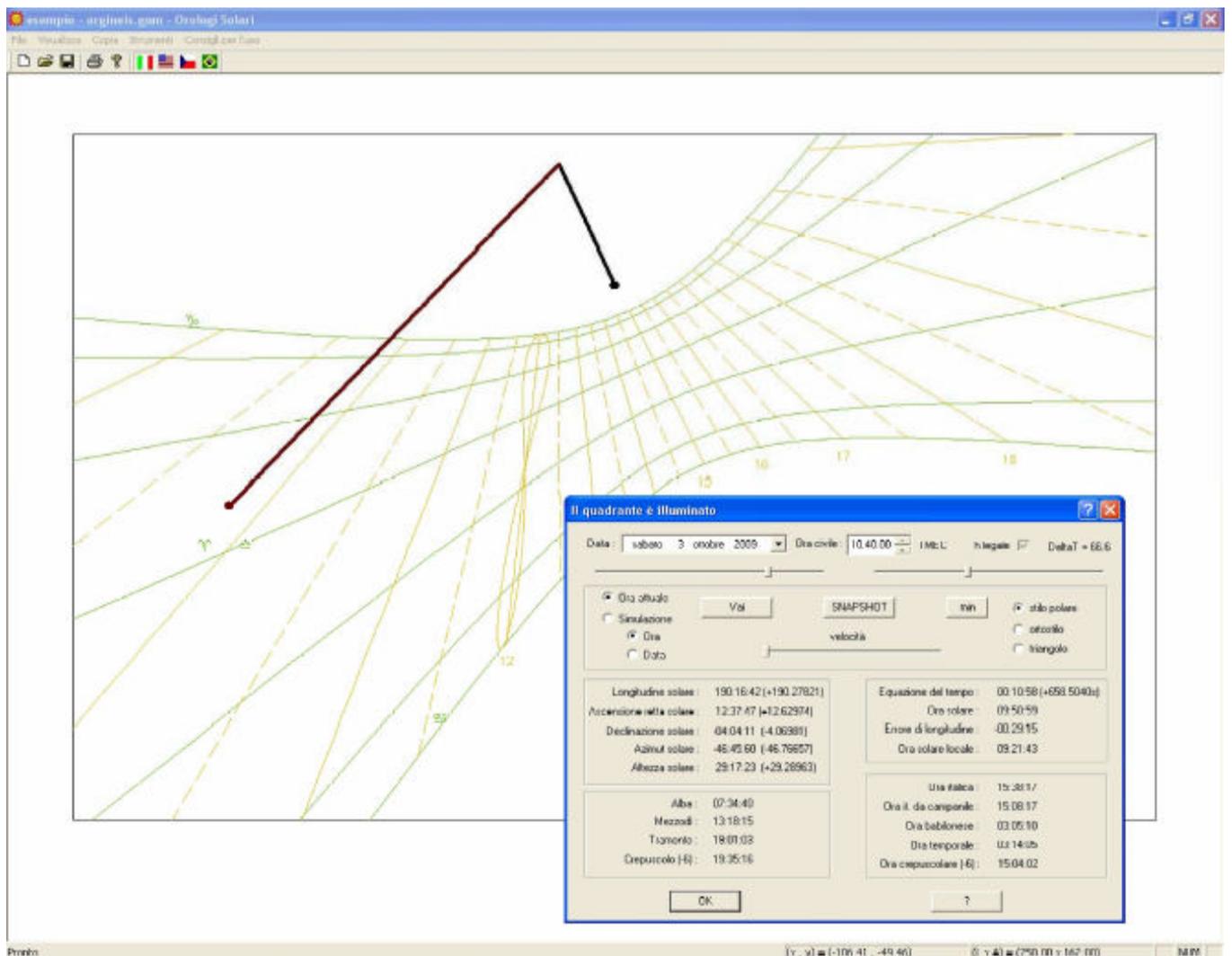


Figura 46 Simulação da sombra

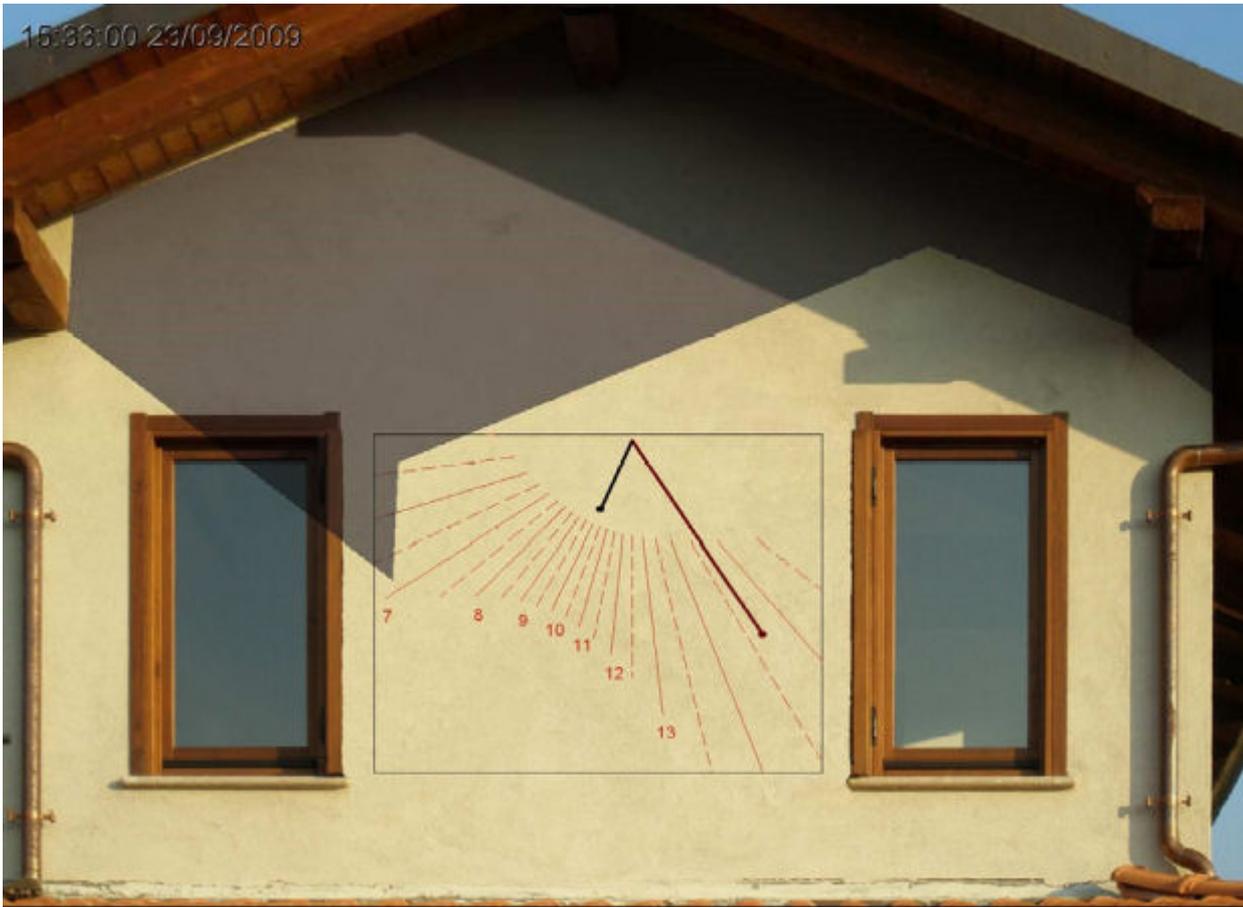


Figura 47 Simulação de telhado e varanda



Figura 48 Simulação de prédios adjacentes

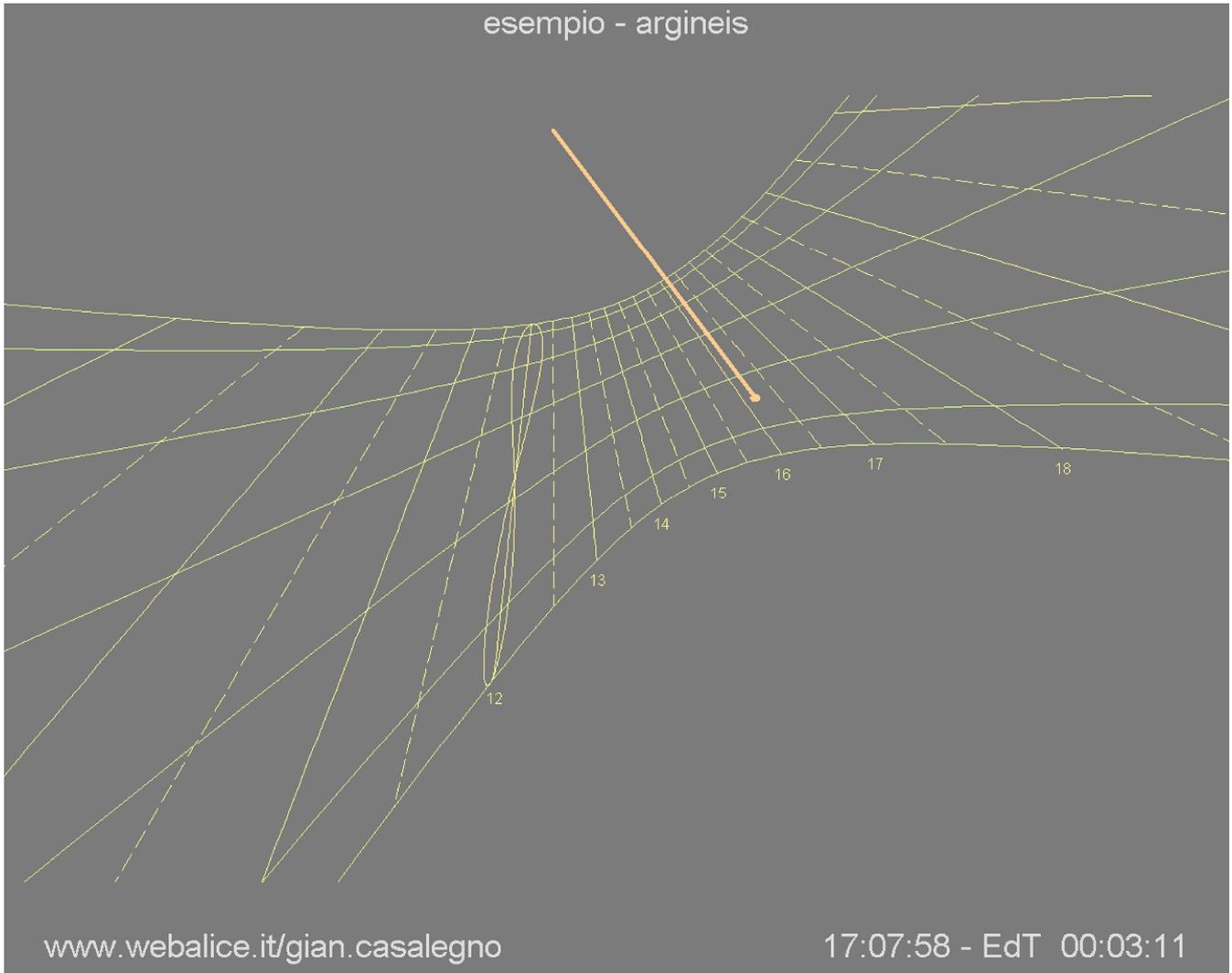


Figura 51 Screen saver (Protetor de tela)

REFERÊNCIAS

Livros (*)

- [1] Girolamo Fantoni, "Trattato completo di Gnomonica", Technimedia 1988
Considerada a Bíblia dos gnomonistas italianos, infelizmente esgotado.
- [2] René Rohr, "Meridiane", Ulisse Edizioni 1988
A edição italiana também está esgotada, mas a anglo-saxônica é encontrada:
René Rohr, "SUNDIALS History, Theory and Practice", Dover Publications 1996
- [3] Enrico del Favero, "Meridiane e Tecniche di Lettura Progettazione e Costruzione",
De Vecchi Editore 1999
Belo e prático.
- [4] Linda Perina e Renzo Zanoni, "Meridiane e Le Tecniche", Demetra s.r.l. 1996
Abordas mais as técnicas de construção.
- [5] Linda Perina e Renzo Zanoni, "Meridiane Antiche e Moderne", Demetra s.r.l. 1996
Todas as imagens, para serem admiradas e nas quais se inspirar.
- [6] Jean Meeus, Astronomical Algorithms, Willmann-Bell Inc. 1998
As fórmulas precisas (mas não muito simples) para calcular a posição do Sol,
a equação do tempo, etc.

(*) NT: nenhum destes livros possui versão em português

Sites na Internet

- [7] "Orologi Solari" <http://digilander.libero.it/orologi.solari>
Instruções, programas, imagens ...
- [8] "GNOMONICA - Meridiane e Orologi Solari - sundial" <http://www.gnomonica.it/>
Imagens, artigos, um bom dicionário gnomônico.
- [9] "Gnomonica e Arte - SOLIS ET ARTIS OPUS - Mario Arnaldi's page Meridiane, Sundials"
<http://digilander.iol.it/McArdal/Gnomo-index.htm>
Instruções, imagens ...
- [10] "Gruppo Astrofili Picensi Orologi solari" http://www.insinet.it/gap/fr_rol.htm
- [11] "AS 2001 Positional Astronomy" <http://star-www.st-and.ac.uk/~fv/webnotes/index.html>
Artigos sobre astronomia.
- [12] "Queens' College Cambridge - VirtualSundial"
<http://www.quns.cam.ac.uk/Queens/virtualdial/index.html>
Simulação em tempo real de um relógio de sol.
- [13] "The British Sundial Society Glossary" <http://www.sundialsoc.org.uk/glossary/index.html>
Um dicionário gnomônico verdadeiramente completo (em inglês).
- [14] "The North American Sundial Society - Sundials" <http://www.sundials.org/>
Aqui você pode encontrar o "Dialist's Companion", um programa *shareware* que mostra em
tempo real todos os parâmetros solares (azimute, declinação, equação de tempo etc.)
- [15] "Home Page UAI - SEZIONE QUADRANTI SOLARI"
http://www.uai.it/sez_gqs/index.htm
O site oficial dos gnomonistas italianos.
- [16] HOROLOGIUM <http://www.meridiane.org/>
Associação cultural sem fins lucrativos
- [17] SOLARIA <http://www.solariameridiane.com/911.html>
Muitos *links* para outros sites gnomônicos.

Programas de cálculo

[18] <http://digilander.libero.it/orologi.solari/download/download.html>

Um programa *freeware* *Orologi Solari* que:

- calcula relógio de sol horizontal, vertical declinante, por projeção, analemático, monofilar e outros.
- calcula horas francesas, italianas, babilônicas e temporais e outras também.
- permite a simulação da sombra em tempo real ou em qualquer época do ano.
- simula a sombra de telhados, varandas, prédios e edifícios adjacentes.
- calcula e exibe as condições de iluminação do mostrador ao longo das estações.
- Contém um *screen saver* que indica a hora atual no mostrador que você projetou.

[19] <http://www.sundials.org/publications/dcomp/dcomp.htm>

É um programa *shareware* *Dialist's Companion*, escrito pela NASS (*North American Sundial Society*) para exibir todos os parâmetros solares, em tempo real, na data e no horário desejado.
NT: no Windows 10 é necessário um emulador DOS como o DOSBox, por exemplo.

[20] <http://www.cadrans-solaires.org>

Site francês do qual o programa *Shadows* pode ser baixado para cálculo de mostradores solares planos. O programa é *freeware* para os mostradores mais comuns (verticais declinantes, horizontais, polares e equatoriais) porém é necessário comprar uma licença para os outros tipos.

[21] <http://www.de-zonnewijzerkring.nl/eng/index-ber-constr.htm>

Site holandês onde o programa *freeware* *ZW2000* pode ser baixado para cálculo de mostradores solares planos.

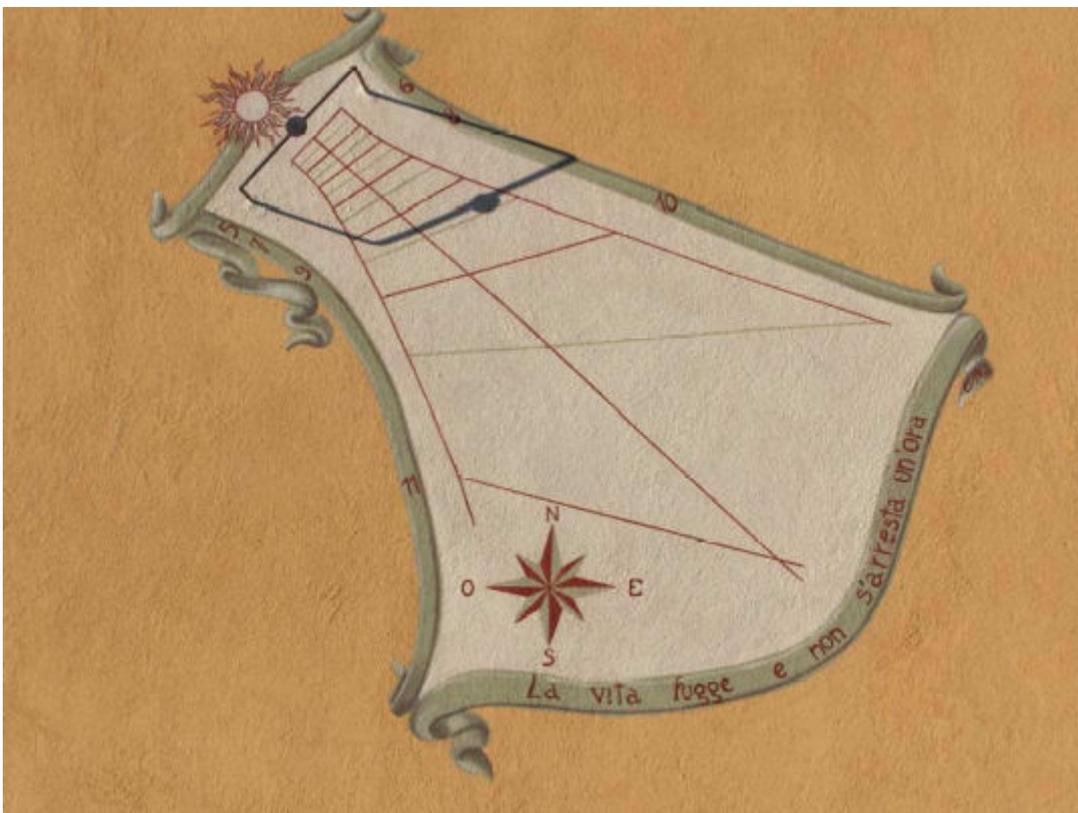


Figura 52 Relógio de sol de Cristina Marchino em uma superfície fortemente declinante (110° para Leste)